

R

Bausteinsystem Komplexe Automatisierung

**Baustein
Automatisierte Bilderkennung**

**Lehrmaterial 1
Anwendungsbedingungen
und Gerätetechnik**

YCDT.net

Dr. B. Fimmel
Dipl.-Ing. P. Fischer
Prof. Dr. K. Fritzsch
Dipl.-Ing. H. Hoffmann
Dipl.-Ing. U. Schroeder
Dr.-Ing. W. Schwarz
Dr.-Ing. G. Schwarze

Baustein
Automatisierte Bilderkennung

Lehrmaterial 1
Anwendungsbedingungen und Gerätetechnik

KAMMER DER TECHNIK
Praesidium
Sekretariatsbereich Weiterbildung
Wissenschaftlich-technische Gesellschaft fuer
Mess- und Automatisierungstechnik in der KDT



Berlin 1988

1. Allgemeine Anwendungsbedingungen

1.1. Industrielle Einsatzprofile

Die Substitution der menschlichen Arbeitskraft durch Maschinen und Automaten erstreckt sich zunehmend auf die sensorischen Funktionen. In diesem Zusammenhang stellt das maschinelle Sehen einen grundlegenden Prozess der Zustandserfassung dar und gewinnt damit fuer automatische und automatisierte Fertigungssysteme eine aehnliche Bedeutung wie das Sehen fuer die hoher organisierten Lebewesen.

Auch in anderen Bereichen hat die automatische Verarbeitung von Bildern bereits eine wichtige Rolle erlangt. Charakteristisch fuer die Automatisierungstechnik ist, dass nicht das Bild einer industriellen Szene oder dessen Beschreibung von Interesse ist, sondern aus der bildhaft repraesentierten Szene in der Regel nur einige wenige Zustandsgroessen zu extrahieren sind:

Teileklasse oder Teilelage fuer Handhabung oder Montage, Fehlerart, Gueteklasse, Laenge, Abstand etc.

Die damit gegebenen Moeglichkeiten werden zunehmend bei der Gestaltung der Fertigungsprozesse genutzt.

Infolge der Faehigkeit zur Zustandserkennung werden diese Systeme des maschinellen Sehens auch Bilderkennungssysteme genannt. Obwohl sie weder eine direkte Nachbildung organismischer visueller Systeme sind noch die Funktion des menschlichen Auges zu uebernehmen vermoegen, ist es doch angebracht, sie als visuelle Systeme zu bezeichnen. Denn sie wandeln nicht nur die in der Szene vorhandenen Helligkeitsmuster in entsprechende Grautonmuster des Bildes (wie ein Fotoapparat), sondern verarbeiten die Bildinformation und extrahieren daraus geometrische, radiometrische oder morphometrische Kenngrossen und isolieren bzw klassifizieren die in der Szene enthaltenen Objekte. Allerdings sind sie nicht universell einsetzbar, sondern loesen eine vorher bekannte spezielle Sehaufgabe, d.h. entnehmen dem Bild nur die relevanten Informationen.

Diese Informationskompression ergibt sich auch aus dem Echtzeitzwang, d.h. die Systemantwort innerhalb einer kurzen prozessbedingten Zeit zu geben.

Der gegenwaertige Einsatz der Bilderkennungssysteme stuetzt sich

vor allem auf deren Faeigkeit, zweidimensionale Szenen zu analysieren. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu organismischen Systemen, bei denen die Gewandtheit zur raeumlichen Erfassung der Umwelt eine lebenswichtige Rolle spielt, selbst bei Lebewesen mit einem relativ primitiven visuellen Apparat. Auch in einer weiteren Kenngroesse gibt es gegenwaertig einen grossen Unterschied: dies ist die Grautonaufloesung. Sie wird bei technischen Systemen oft auf zwei Grautone reduziert, d.h., es werden nur binaere Schwarz-Weiss-Bilder verarbeitet.

Bilderkennungssysteme werden sowohl in Anlagen der starren als auch der flexiblen Automatisierung eingesetzt.

Die Produktion von Massenguetern erfolgt vorzugsweise in Anlagen der starren Automatisierung. Einsatzgebiete der Bilderkennung sind vor allem Pruefvorgaenge an den Zulieferteilen (geometrische Abmessungen, Oberflaechenbeschaffenheit) zur Einhaltung enger Toleranzen und Kontrollen der Anwesenheit bzw. Identitaet von Teilen sowie der richtigen Ausfuehrung von Prozess-Schritten. Der Mensch ist fuer die Ausfuehrung dieser monotonen Taetigkeit schlecht geeignet. Die Forderung nach hundertprozentiger Inspektion von Teilen, Prozess-Schritten und Endprodukten wird aufgrund des steigenden Anlagenwertes, der nur eine vollstaendig stoerfungsfreie Produktion oekonomisch effektiv macht, zunehmend erhoben. Sie laesst sich mit visuellen Systemen zuverlaessig und produktionstaktgerecht loesen, sofern es gelingt, die zu kontrollierenden Groessen bildhaft zu erfassen und bildanalytisch auszuwerfen.

Es haben sich bereits eine Reihe von Anwendungsschwerpunkten profiliert. Mit relativ einfachen Systemen koennen geometrische Parameter aller Art gemessen werden, so u.a. Laengen, Dicken, Flaechen, Abstaende, Schwingungsweiten.

Wie bereits erwähnt, wird die Teileerkennung vor allem in Anlagen der flexiblen Automatisierung genutzt, vor allem fuer die Unterstuetzung von Transport-, Beschickungs- und Montageprozessen. Die Beschräenkung auf die zweidimensionale Erkennung erweist sich als hinderlich fuer die Erschliessung weiterer Einsatzmoeglichkeiten.

Weiterhin werden spezialisierte und hochleistungsfaehige Systeme fuer komplexe Pruefprozesse, z.B. bei der Leiterkarten- und Schaltkreisproduktion, entwickelt und eingesetzt.

Zusammenfassend ergibt sich die wachsende Bedeutung von Bilderkennungssystemen aus der Universalitaet des Sensorprinzips, dem Automatisierungzwang bei der visuellen Inspektion und der Faeigkeit zur quantitativen Erfassung komplexer Zustandsgroessen. Wichtig fuer die Einsatzgestaltung ist der Hinweis, dass sie auf der Basis einer Prozessanalyse zu erfolgen hat und zur Spezifikation des Bilderkennungssystem fuehrt. Diese umfasst u.a. die zu erreichende geometrische Genauigkeit (beim Einsatz von Halbleitersensoren sind relative Abweichungen unter 1 % moeglich), die gute Reproduzierbarkeit (ahnliche Werte wie bei der Rechentechnik), die Darstellbarkeit der zu erfassenden Groessen in einem zweidimensionalen Bild sowie die Sicherheit der Erkennung unzulaessiger Zustaende (Faehigkeit zur Rueckweisung).

Im allgemeinen wenig hilfreich ist es, sich an der menschlichen Sehleistung zu orientieren, auch wenn das technische visuelle System an die Stelle einer menschlichen Arbeitskraft treten soll. So kann der Mensch hohe geometrische Genauigkeit und Reproduzierbarkeit nur mit Hilfe skalierter Instrumente erreichen, dagegen findet er meist muehelos die relevanten Szenenausschnitte und erkennt leicht Abweichungen vom normalen Prozessablauf.

1.2. Einsatzspezifikation

Die moeglichst genaue Beschreibung der Aufgabe und der daraus resultierenden Anforderungen ist eine wichtige Aktivitaet zur Verringerung des Einsatzrisikos. Hierzu sind folgende Fragen zu beantworten:

- Wie ist die Szene gestaltet?
- Was soll sensorisch erfasst werden?
- Welche Ausruestungen sind verfuegbar?
- In welchem Umfang sind Aenderungen an Szene und Ausruestungen moeglich?

Die Angaben zur Szene umfassen:

- Lage und Abmessung des abzubildenden Ausschnitts (bestimmen zusammen mit der Kameraposition den Abbildungs-Mass-Stab)
- Messgenauigkeit (bestimmt die erforderliche geometrische Aufloesung)

- Charakteristik der Szenenbestrahlung (Bestrahlungsniveau, Bestrahlungsrichtung)
- Umgebungsbedingungen (Eigenschaften des optischen Mediums, Temperatur, mechanische Stabilität)
- Zeitbedingungen (Bildaufnahmezeit, erforderliche Reaktionsgeschwindigkeit des Systems)
- Eigenschaften der Objekte (Oberflächenbeschaffenheit, Bewegung)
- Erforderliche Invarianzleistung gegen Änderungen
- Art der Reaktion bei unvorhergesehenen oder unwahrscheinlichen Ereignissen

Die zu erfassenden Zustandsgroessen sind geometrischer, morphologischer oder radiometrischer Natur.

Die geometrischen Groessen können ein- oder mehrdimensional sein. Sie werden im Normalfall dadurch erfasst, dass Objektbegrenzungen durch geeignete Bestrahlung, Objektgestaltung und Kameraanordnung in geometrische Orte von Grauwertsprünge transformiert werden. Weitere Möglichkeiten sind: Differenzen in der Farbe oder der Textur; Erzeugung von Unstetigkeiten in Mustern, die durch strukturierte Bestrahlung auf die Szene projiziert werden; Erzeugung von Interferenz- oder Bewegungsfeldern und deren quantitative Analyse.

Morphometrische Groessen dienen der Erfassung der Form bzw. der Gestalt von Objekten, Teilobjekten oder Oberflächenmustern. Sie werden i.a. wegen ihres Bezuges zur Anschauung als (morphometrische) Merkmale bezeichnet: Fläche, maximaler Durchmesser, maximale Breite, Maß der Abweichung von der Kreisform. Die Fähigkeit zur berührungslosen quantitativen Erfassung von Gestalten und Formen stellt eine neue Qualität für die Mess- und Überwachungstechnik dar. Durch die Definition invarianter Groessen (gegenüber Translation, Rotation, Änderungen des Massenstabs, Bestrahlungsschwankungen) wird das Bilderkennungssystem robust gestaltet.

Die Erfassung und Auswertung der in den Bildern enthaltenen radiometrischen Informationen hat bisher nicht die gleiche Verbreitung gefunden. Die Radiometrie umfasst neben der Ermittlung des Bestrahlungsniveaus auch die Erfassung von Temperaturverteilungen sowie von Kontrasten und Farbwerten.

Die Menge der automatisch zu verarbeitenden Informationen ist

dabei sehr hoch. Bilderkennungssysteme mit entsprechender Verarbeitungsleistung stellen eine neue Generation dar.

Die erste Generation sind die Binaerbilderkennungssysteme fuer die Erfassung ein- und zweidimensionaler Zustandsgroessen, die zweite Generation bilden die Grautonbilderkennungssysteme mit 2D-Verarbeitung. Die naechsten Generationen werden das Farb-, Bewegungs- und Raumsehen realisieren.

Bei entsprechendem Aufwand laesst sich das sensorisch Erfassbare staendig erweitern. In Abhaengigkeit von dem erreichten technischen Stand gibt letztlich das Verhaeltnis von Kosten und Nutzen den Ausschlag. Aufwand-Nutzen-Betrachtungen sprechen auch bei der Entscheidung zwischen Zeilen- und Flaechensensoren eine wichtige Rolle. Zeilenkameras sind billiger und lassen in der Zeilenrichtung eine hohe geometrische Genauigkeit zu. Hinsichtlich der radiometrischen Aufloesung sind sie im unkorrigierten Betrieb den Matrizen ueberlegen und lassen sich aufgrund der geringeren Anzahl der Sensorelemente auch leichter kalibrieren.

Fuer die Bestrahlungseinrichtungen lassen sich einige allgemeine Richtlinien finden:

Der Bestrahlung ist grosse Aufmerksamkeit zu widmen, da oftmals erst dadurch automatische Erkennungssysteme einsetzbar werden. So koennen Strukturen hervorgehoben werden oder bestimmte Merkmale sichtbar vergroessert (Schatten) und damit erfassbar gemacht werden. Auch die oertliche und zeitliche Konstanz der Strahlungsmenge ist fuer reproduzierbare Bilder im gleichen Masse zu erhoehen, wie die relative radiometrische Aufloesung der Kamera. Durch geeignete optische Systeme der Bestrahlungseinrichtung muss das Licht auf die tatsaechlich vom Sensor erfasste Zone begrenzt werden, um den Energiebedarf in Grenzen zu halten.

Weitere Zusatzausruestungen sind Einrichtungen zur Praesentation der Objekte (Positionierung, Vereinzelung etc.).

Wie bei vielen technischen Problemen werden zahlreiche Varianten im Einsatz geprueft, bis sich eine davon als optimal abheben laesst. Die Variationsmoeglichkeiten erschoepfen sich jedoch nicht darin, Szenen, Objekte oder Ablaeufe umzugestalten. Auch das Herangeben selbst kann unterschiedlich sein. Dem Anwender stehen zumindest drei Wege offen:

- Kauf eines spezifikationsgerechten Bilderkennungssystems und Einsatzvorberichtung durch Eigenleistung
- Kauf eines bedingt geeigneten Bilderkennungssystems und Vereinbarung mit dem Lieferer oder einem Dritten zur einsatzgerechten Anpassung
- Kauf einer Produktions- oder Inspektionsanlage mit integriertem Bilderkennungssystem (schluesselfertige Loesung)

Die Entscheidung fuer einen der Wege haengt von zahlreichen Faktoren ab, auf deren umfassende Darstellung hier verzichtet werden muss.

Eine wichtige Folgerung laesst sich jedoch aus der Tatsache ableiten, dass in der Mehrzahl der Faelle eine Anpassung des gelieferten Systems erforderlich ist (bei Wahl des ersten oder zweiten Weges). Ein konkretes System erscheint in mehreren Varianten, zumindest als Entwicklungssystem und als Einsatzsystem.

Das Entwicklungssystem dient der Erarbeitung des Verfahrens und enthaelt außer dem eigentlichen, fuer den Einsatz vorgesehenen System zusaetzlich Mittel fuer die Programmentwicklung und -testung.

Das Einsatzsystem besteht nur aus den fuer die Automatisierungsaufgabe unbedingt notwendigen Komponenten.

In der Regel wird noch eine dritte Variante in Form eines Inbetriebnahmesystem vorgesehen und zwar fuer die Belehrung und die Wartung bzw. die Fehlersuche (s.a. Abschnitt 2.5.).

1.3. Funktionelle Beschreibung

Die Unterscheidung in Entwicklungs-, Inbetriebnahme- und Einsatzsysteme macht sich aufgrund der Komplexitaet des Verarbeitungsprozesses erforderlich, die eine komfortable Umgebung bei der Programmentwicklung erfordert. Dabei ist das reibungslose Zusammenwirken aller Glieder der Verarbeitungskette zu sichern.

Die Kette beginnt mit der Bestrahlungseinrichtung, denn in der Regel nimmt ein System die von Szenen reflektierte Strahlung auf. Selbststrahlende Objekte sind die Ausnahme.

Das naechste Glied ist die Bildaufnahme, meist mit Hilfe zeilen- oder flaechenabtastender Sensoren. Helligkeitsmuster werden in elektrische Signalmuster gewandelt. An die Bildaufnahme schliesst sich die Digitalisierung und Vorverarbeitung des gerasterten

Bildes an.

Aus den vorverarbeiteten Bildern werden Merkmale extrahiert, mit denen die problembezogene Analyse und Objektanalyse erfolgt.

Die Reihenschaltung der Teilsysteme hat zur Folge, dass die Gesamtleistung vom schwächsten Glied beschraenkt wird. Somit lassen sich Verluste an prozes levanten Informationen in einer Verarbeitungsstufe spaeter nicht mehr wettmachen.

Wie die Praxis zeigt, bieten sich bei der Szenenbestrahlung und der Objektpraesentation gute Moeglichkeiten zur Kostendaempfung. Das beste Beispiel ist die Schaffung der Voraussetzung fuer die Binaerbildverarbeitung. Aber auch die Ermittlung optimaler Erkennungsmerkmale fuer Objekte und Fehler ordnet sich hier ein. Dies kann zwar ein langwieriger Prozess waehrend der Systementwicklung sein. Es lohnt sich, wenn damit ein kostenguenstiges Verfahren implementiert werden kann.

Zum Abschluss dieses Kapitels seien noch einige Parameter zur quantitativen Bewertung von Bilderkennungssystemen erlaeutert:

Fuer die Bildaufnahme werden in der Regel Zeiten zwischen 1 ms und 1 s zugelassen.

Die absolute Aufloesung des kleinsten Details wird durch die Rasterweite zwischen den Sensorelementen und den Abbildungsmass-Stab bestimmt, sie haengt ab vom Kontrast zwischen Objekt und Untergrund, von der Guete der optischen Abbildung und der Wellenlaenge der Bestrahlung . Es sind etwa $10 \mu\text{m}$ erreichbar. Die relative geometrische Aufloesung ist das Reziproke der Anzahl der Bildelemente in der betrachteten Richtung.

Die absolute radiometrische Aufloesung wird von der Empfindlichkeit bestimmt (siehe Kameradaten in Abschnitt 2.1.).

Die relative radiometrische Aufloesung im Bild reicht von zwei (Binaerbildverarbeitung) bis 64. Im Einzelsensor wird ein Dynamikbereich von 300 - 500 erzielt.

Die Verarbeitungszeit fuer ein Bildelement erstreckt sich von $20 \mu\text{s}$ fuer Systeme der unteren Leistungsklasse bis $1 \mu\text{s}$ fuer Systeme der gehobenen Leistungsklasse. Bei den ueblichen Bildrastern von 256×256 bis 512×512 bedeutet das eine Verarbeitungszeit von etwa 1 s bzw. 100 ms .

Die Anzahl der unterscheidbaren Zustaende reicht von drei (Defekt, Fehlerfreiheit, Rueckweisung) bis zu einigen Tausend (Unterscheidung von Typen bei der Schreibmaschinenmontage).

2. Erlaeuterungen zur Geraetetechnik

2.1. Beschreibung der Baugruppen

Die CCD-Zeilenfernsehkameras ZFK 1021 und ZFK 1040 bestueckt mit CCD-Festkoerpersensoren sind fuer die Ueberwachung kontinuierlicher Produktionsprozesse, die Bild- und Zeichenerkennung unter industriellen Bedingungen und fuer statische Messungen (Laengen- und Dickenmessungen, Querschnitts- und Profiluntersuchungen) vorgesehen. Die Kameras werden zweckmaessig ueber die Steuereinheit STE 1011 an Mikrorechner mit 8-Bit-Prozessoren, vorzugsweise K 1520 des VEB Kombinat Robotron, angeschlossen.

Die beiden Kameratypen unterscheiden sich im Aufbau des CCD-Sensors.

Die Zeilenfernsehkamera ZFK 1021 enthaelt die CCD-Zeile L 110 C des VEB WF mit 256 nebeneinanderliegenden lichtempfindlichen Flaechen (Pixel), die ZFK 1040 hingegen beinhaltet einen Zeichenchip mit 1024 Pixeln, die L 133 C. Beide Kameras benoetigen neben den Versorgungsspannungen noch 2 spezifische Taktsignale, den Uebertragungs- und den Transporttakt.

Diese beiden Takte werden ueber den Leistungstreiber MH 75 110 von Seiten der Steuereinheit STE 1011 bzw. der Multiplexeinheit MPE 1010 der jeweiligen Kamera zur Verfuegung gestellt und in den Kameratypen ohne Abschlusswiderstand ueber den Leitungsempfaengerorschaltkreis MH 75 107 abgegriffen. Die interne Taktverarbeitung unterscheidet sich bei den verschiedenen Kameratypen.

2.1.1. Zeilenfernsehkamera ZFK 1021

Neben dem Uebertragungs- und einem Transporttakt benoetigt die Zeile L 110 C noch einen Rueckstelltakt. Um die erforderliche zeitliche Verknuepfung zwischen Transport- und Rueckstelltakt zu gewaehrleisten, werden beide aus dem der Kamera zugefuehrten Transporttakt hergeleitet.

Bild 2.1 zeigt den Zusammenhang zwischen zugefuehrten Taktten und dem Zeilenkameraausgangssignal. Hiernach laesst sich ableiten, dass bei einer Transporttaktfrequenz zur Kamera von $fT0$ der eigentliche Auslesetakt an der Zeile

$$f_T = \frac{f_{T0}}{4} \quad (2.1)$$

und somit die Bildpunktfrquenz

$$f_{BP} = \frac{f_{T0}}{2} \quad (2.2)$$

ist.

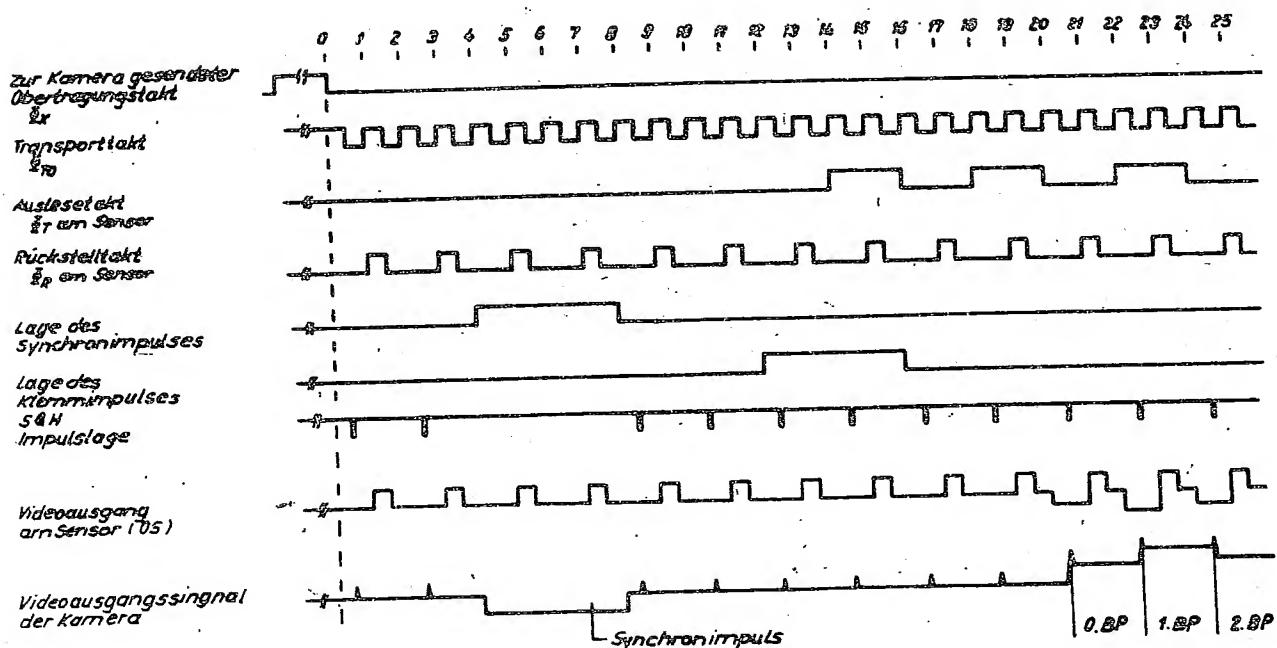


Bild 2.1: Taktschema der ZFK 1021

(STE 1011
bzw.
MPE 1010)

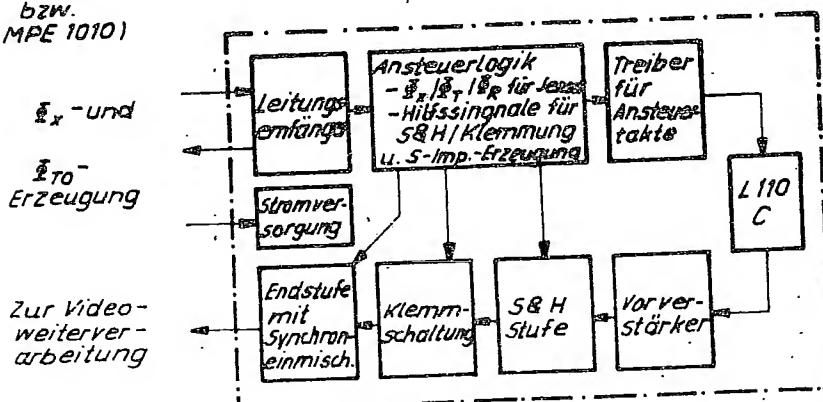


Bild 2.2: Prinzipschaltbild ZFK 1021

Die ZFK 1021 besitzt die folgenden technischen Daten:

- Optische Daten:

Objektiv

Tevidon-Objektivreihe

Sensortyp

L 110 C (256 x 1 Pixel)

Empfindlichkeit des Sensors

0,2 V/J-1cm²

Sättigungsbestrahlung	1 μ J cm ⁻²
Normlichtart A	
Spektrale Empfindlichkeit	Ø, 4 ... 1, 1 nm
Auflösungsvermögen mit IR-Sperrfilter C 9971	38, 5 Lp mm ⁻¹
- Elektrische Daten:	
Betriebsspannungen	+ 15 V ; + 9 V ; - 9 V
Dynamikumfang DR	> 200
Videoausgangsspannung	U _{SS} = 1 V an 75 Ohm
Integrationszeit	200 μ s ... 30 ms (64 μ s ... 100 ms funktions- tuechtig)
Bildpunktfolgefrequenz bei Betrieb mit K 1520	f _{BP} rund 1, 25 MHz
max. Bildpunktfolgefrequenz	f _{BPmax} = 5 MHz
Leistungsaufnahme	< 5 W
- Mechanische Daten:	
Abmessungen	
Gehäusedurchmesser	70 mm
Länge ohne Objektiv	cá. 165 mm
Objektivanpassung	C-Mount-Gewinde
Masse	ca. 0, 5 kg
(ohne Objektiv und Kabel)	

2.1.2. Zeilenfernsehkamera ZFK 1040

Der Zeilensensor, die L 133 C, benötigt im Gegensatz zur L 110 C nur noch den Übertragungs- und den Transporttakt. Letzterer wird direkt aus dem der Kamera zugeführten Takt übernommen. Dadurch erhalten wir gegenüber der ZFK 1021 eine Bildpunktfolgefrequenz, die doppelt so gross ist wie die Transporttaktfrequenz, die an der ZFK 1040 anliegt. Der Schwarzwert wird ähnlich wie bei der ZFK 1021 auf das Potential von Isolierzellen geklemmt (siehe Bild 2.3).

Um ein den Parametern des Zeilensignals bei niedrigen Bildpunkt-
frequenzen (bis 3 MHz) entsprechendes Ausgangssignal auch bis f_{BP}
= 20 MHz zu erzielen, wurde eine den jeweiligen Belangen extern
anzugleichende Abtast-Halte- und Verkettungsschaltung der beiden
Kanalausgänge eingesetzt.

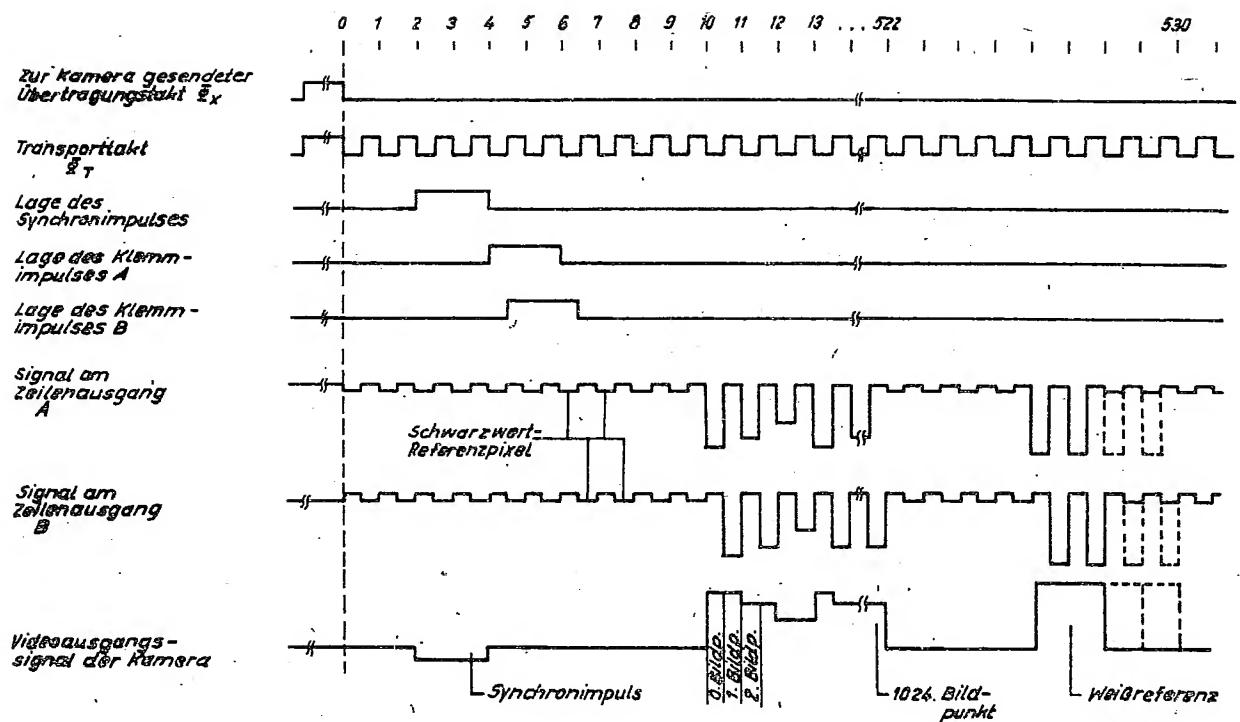


Bild 2.3: Taktschema der ZFK 1040

Wichtige technische Daten der Zeilenfernsehkamera ZFK 1040:

- Optische Daten:

Sensortyp L 133 C (1024 x 1 Bildpunkte)

Empfindlichkeit des Sensors 1,8 V μ J-1 cm²

Sättigungsausgangsspannung d. Sensors USAT = 1 V

Spektrale Empfindlichkeit 560 ... 990 nm

Aufloesungsvermögen mit

IR-Sperrfilter C 9971 38,5 Lp mm⁻¹

- Elektrische Daten:

Betriebsspannungen + 18 V ; + 9 V ; - 9 V

Dynamikumfang >= 500

Integrationszeit 64 μ s ... 30 ms

(bis 100 ms bei 25 °C)

Bildpunktfolgefrequenz fBP 1,25 ... 20 MHz

Leistungsaufnahme ca. 10 W

Videoausgangsspannung Uss = 1 V an 75 Ohm

- Mechanische Daten:

Abmessungen:

Gehäusedurchmesser	70 mm
Länge ohne Objektiv	ca. 210 mm
Objektivanpassung	M 42 x 1 (Praktica-Gewinde)
Masse	ca. 700 g

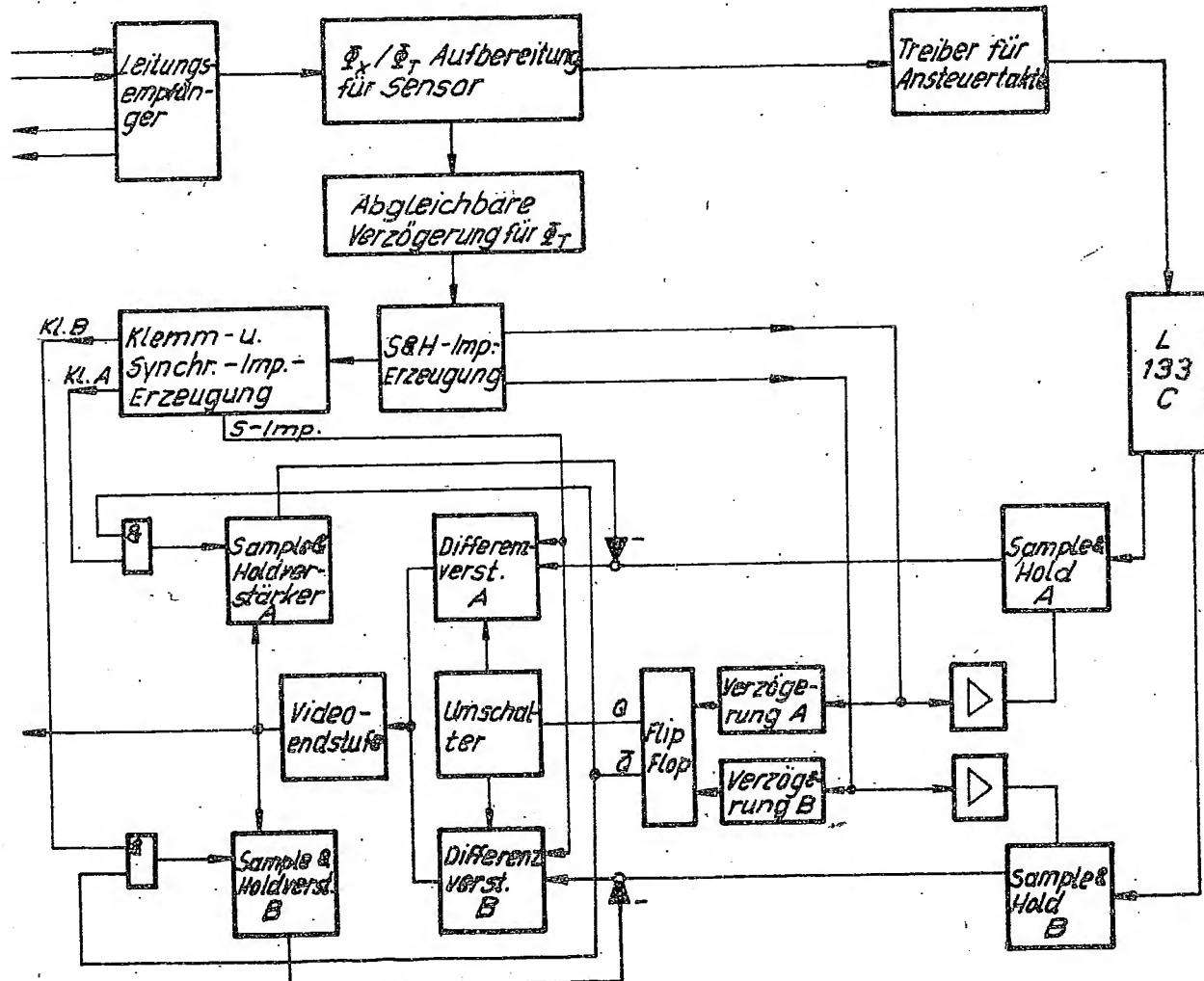


Bild 2.4: Prinzipschaltbild der ZFK 1040

2.1.3. Zeilenfernsehkamera ZFK 1031

Die Zeilenfernsehkamera ZFK 1031 ist wie die ZFK 1040 mit dem Zeilenchip L 133 C bestückt, jedoch als Kompaktkamera aufgebaut. Diese Kompaktkamera kann sowohl autonom (es sind nur entsprechende Betriebsspannungen anzulegen) als auch rechnergesteuert und dann vorzugsweise in Verbindung mit einer Steuereinheit STE 1011 (K 1520-Einschub) betrieben werden. Im autonomen Betrieb liefert

die ZFK 1031 alle Signale, um mit geringstem Aufwand Pruef-, Mess- und Ueberwachungsaufgaben durchzufuehren.

Die Kompaktkamera ZFK 1031 ist ueber ein 5 m langes Anschlusskabel mit den entsprechenden Betriebsspannungen zu verbinden.

An ihren Anschluss-Steckern auf der Rueckseite des Kameragehaeu-ses stehen analoges und binaeres Video- sowie ein Triggersignal zur Verfuegung.

Die vom Zeilensor intern gebildete Videoinformation wird verstaeerkt, geklemmt, mit einem Synchronsignal versehen und dann als normiertes Ausgangssignal niederohmig bereitgestellt (siehe ZFK 1040). Gleichzeitig wird das Videosignal durch einen Komparator mit veraenderlicher Schwelle binarisiert und ist durch einen zusätzlichen Verstaerker ebenfalls niederohmig im TTL-Pegel verfuegbar. Als Triggersignal zur Synchronisation externer Geräete wird ein Impuls zur Verfuegung gestellt, der synchron zur gewählten Integrationszeit und Datenrate zeitlich vor dem Auslesen der Videoinformation erzeugt wird. Das Triggersignal wird ebenfalls niederohmig als TTL-Signal bereitgestellt.

Im Folgenden werden einige Merkmale möglicher Betriebsarten aufgefuehrt:

- Kamerainterne Erzeugung des Auslesetaktes fuer Zeilensor mit kamerainterner Erzeugung des Integrationszeitimpulses nach restlosem Auslesen des Zeilensors
- Externe Steuerung des Auslesetaktes und des Integrationszeit-impulses bei externer Takteinspeisung z.B. durch STE 1011
- Kamerainterne Erzeugung des Auslesetaktes fuer Zeilensor mit externer Steuerung der Erzeugung des Integrationsimpulses
- Kamerainterne Erzeugung des Integrationszeit-Impulses bei externer Takteinspeisung

Fuer die Betriebsarten mit externen Versorgungstakten sowie fuer die Bereitstellung der Versorgungsspannungen wird vom Hersteller folgende Beschaltung der Buchsenleiste fuer das Kamerakabel vorgegeben.

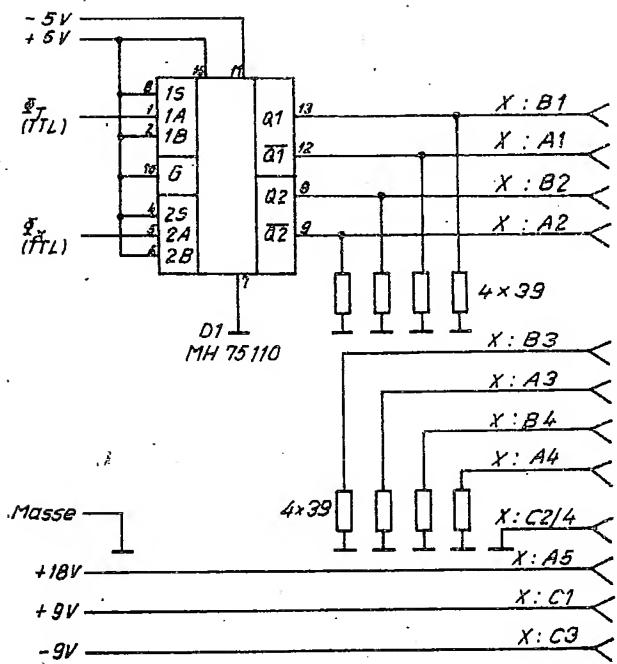


Bild 2.5: Beschaltung der Buchsenleiste fuer externe Taktbereitstellung

Da mit der Zeilenfernsehkamera nur Bildpunktfolgefrequenzen bis 10 MHz realisiert werden, ist der Videotakt gegenüber der ZFK 1040 einfacher realisiert. Als Komparator mit fest einstellbarer Schwelle wird die IS B 110 D eingesetzt.

Technische Daten der ZFK 1031:

- Optische Daten entsprechend ZFK 1040	
- Elektrische Daten	
Betriebsspannungen	+ 18 V ; + 9 V ; - 9 V
Leistungsaufnahme	ca. 8 W
Dynamikumfang	> = 500
Integrationszeit	extern ca. 100 µs ... 30 ms intern ca. 100 µs ... 30 ms in drei Stufen wählbar und Möglichkeit zum Feinabgleich
Bildpunktfrequenz	extern 1,25 ... 10 MHz intern 1,25; 2,5; 5,0; 10,0 MHz vorwählbar
Videoausgangsspannung analog	U _{SS} = 1 V an 75 Ohm
Binaerausgang	TTL-Pegel an 75 Ohm
Triggerausgang	> = 1 V ss an 75 Ohm

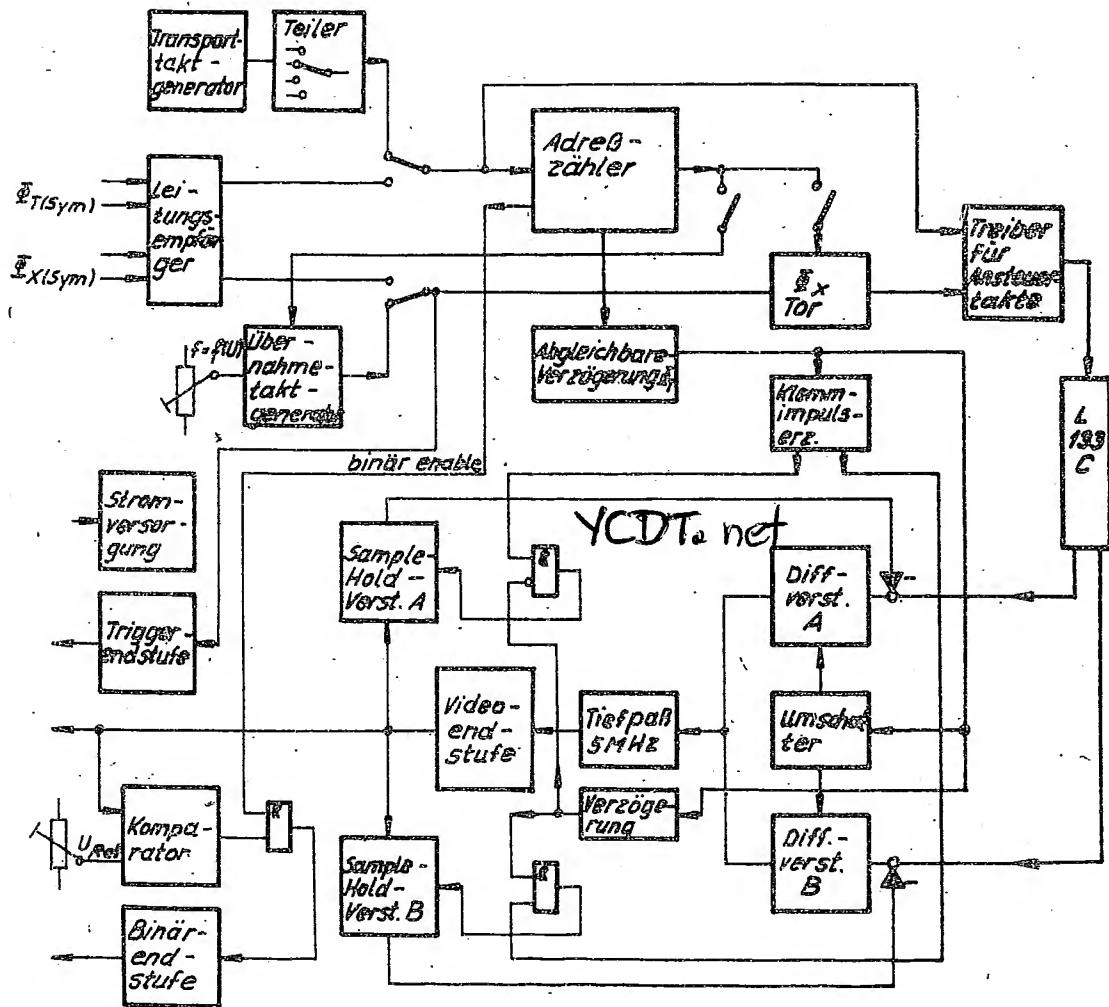


Bild 2.6: Prinzipschaltbild der ZFK 1031

2.1.4. Steuereinheit STE 1011

Die Steuereinheit STE 1011 ermöglicht softwaremäßig unterschiedliche Betriebsarten mit den Zeilenfernsehkameras ZFK 1021 oder ZFK 1040 durch Bereitstellung spezifischer Versorgungsspannungen und Taktsignale. Durch entsprechende Software ist ein CTC-Baustein für variable Integrationszeiten frei zu programmieren.

Das von der Zeilenfernsehkamera angebotene analoge Videosignal wird in der Steuereinheit so aufbereitet, dass es analog, binaer-bit - seriell oder in binaer - 8-bit- paralleler Ausgabe weiterverarbeitet werden kann. Die Binarisierung des Videosignals erfolgt in 2 Komparatoren, deren Schwellwertspannungen ebenfalls durch Rechnersoftware variabel einstellbar sind. Ein Adressenzähler ermöglicht die Ausgabe einer Adresse für jeden Bild-

punkt im Videosignal. Steuereinheit und Zeilenfernsehkamera koennen wahlweise mit dem Takt des angeschlossenen Mikrorechners, mit externem oder internem Takt arbeiten. Fuer die Bereitstellung des internen Taktes verfuegt die STE 1011 ueber einen Quarzgenerator fuer Frequenzen von 1 MHz bis 40 MHz. Die anwendungsspezifischen Quarze muessen auf Grund der Mannigfaltigkeit vom Anwender nachgesetzt werden.

Die Datenbits des 8-bit-parallelen Datenwortes koennen unabhaengig vom Rechnertakt ueber den Koppelbus ausgegeben werden. So werden hier Byteraten bis 2,5 MHz bei einer Bildpunktfolgefrequenz von 20 MHz der weiteren Verarbeitung zur Verfuegung gestellt. Ein spezieller Eingang erlaubt den Betrieb bei DMA.

Die Steuereinheit ermoeglicht die Aktivierung von Wartezyklen im Mikrorechner, wenn dies zur Sicherung der Dateneuebernahme in den Rechner durch dessen hoehere Arbeitsgeschwindigkeit erforderlich ist. Die Steuereinheit ist durch Einsatz der IS U 857 D befahigt, auf einem ihr durch Voreinstellung zugewiesenen Adressplatz Programmunterbrechungen (Interrupt) im Mikrorechner auszuloesen.

Die STE 1011 ist fuer das Mikrorechnersystem K 1520 vom VEB Robotron systemkompatibel. Nichtsystemgebundene Signale sind auf den Koppelbus gefuehrt (siehe Tabelle 2.1).

Den CTC-Kanaelen 0 ... 2 sind folgende Funktionen zugeordnet.

Kanal 0: Beim Nulldurchgangsimpuls wird nur die Bereitstellung eines Uebernahmetaktes ausgelöst.

Kanal 1: Beim Nulldurchgangsimpuls wird die Bereitstellung eines Uebernahmetaktes ausgelöst. Gleichfalls wird der "Freilaufbetrieb" zugelassen, d. h. eigenstaendig wird nach dem Auslesen von 1024 Bildpunkten bei der ZFK 1040 bzw. 256 Bildpunkten beim Betrieb mit der ZFK 1021 die Bereitstellung eines Uebernahmetaktes (ϕ_X -Impuls) ausgelöst.

Kanal 2: Beim Nulldurchgangsimpuls wird einerseits der Freilaufbetrieb gesperrt, andererseits werden die Kanaele 0 und 1 freigegeben bzw. dekrementiert. Die Verbindung zwischen ZC/T02 nach C/TRG0 und C/TRG1 der CTC hat extern auf dem Koppelbus zu erfolgen.

Kanal 3: Frei programmierbar, z. B. als Zeilenzzaehler (hierfuer kann auf dem Koppelbus der CTC-Eingang mit dem /VID- oder /VBYTE-Signal verbunden werden).

Tab. 2.1: Fuer den Anwender wichtige Signale auf dem Koppelbus

Koppelbussignal	Erlaeuterungen
2 x CLBP	doppelter Bildpunkttakt (Muttertakt)
CLBP	Bildpunkttakt
/ADR0	} Adressleitungen der Bildpunkte
:	} (nur fuer Segmente von
/ADR6	} 128 Bildpunkten)
7F	Uebertragungssignal nach 128 Bildpunkten
BBP	Binaerausgang des Komparators oder Fensterkomparators
SAT	aktiv bei Ueberschreitung des oberen Schwellwertes der Komparatoren
Bit 0	} Datenleitungen des binarisierten
:	} und formatierten
Bit 7	} Videosignals
EXCL	Eingang fuer externen Takt
C/TRG0	} Zahl- bzw. Triggereingaenge
:	} der CTC-Kanaele
C/TRG3	
ZC/T02	Impulsausgang des CTC-Kanal 2

Beispiel fuer die Programmierung der CTC-Kanaele und die daraus resultierende Berechnung der Integrationszeit fuer relevante Daten:

Programmierung der einzelnen Kanaele:

Kanal 0: laeuft als Zeitgeber, wird extern gestartet

Kanal 1: laeuft als Zaehler, wird extern dekrementiert, liefert Interrupt

Kanal 2: beginnt zyklisch zu zaehlen ab M1-Zyklus nach senden der Zeitkonstante, liefert keinen Interrupt

Durch die aeussere Beschaltung auf dem Koppelbus werden die Kanaele 0 und 1 durch den ersten Nulldurchgangsimpuls gestartet bzw. dekrementiert. Nach Ablauf der in Kanal 0 geladenen Zeitkonstante wird am Pin 7 der CTC der IA-Impuls gesendet. Im Kanal 1 wird der in den Zaehler geladene Zaehlerstand mit der Startimpulsfolge des Kanals 2 solange dekrementiert, bis der

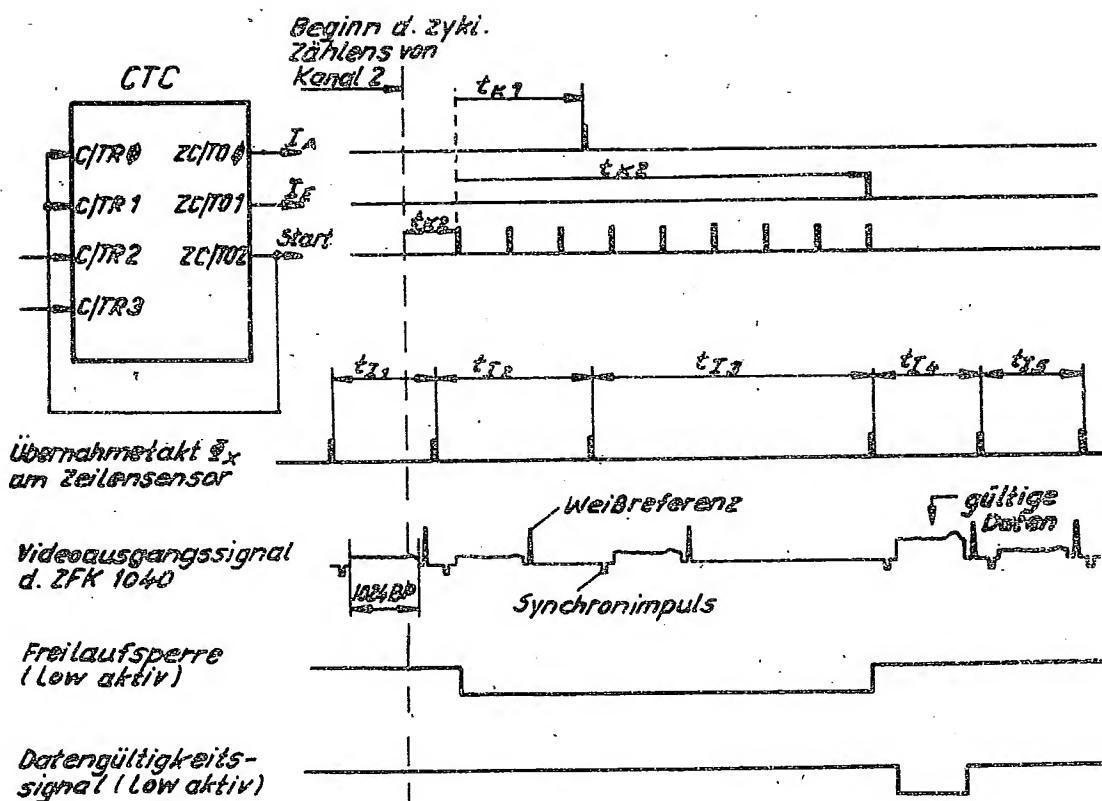


Bild 2.7: Zusammenschaltung der CTC-Kanäle und Integrationszeitbestimmung

tI	: Integrationszeit
tI1,2 und tI4,5	: Integrationszeiten bei denen Daten anfallen, die nicht ausgewertet werden
tI3	: relevante Daten zur Weiterverarbeitung
IA	: Integrationsanfang
IE	: Integrationsende

Zählerstand \emptyset erreicht ist und von Pin 8 der IE-Impuls gesendet wird. Um einen erneuten Freilaufstop durch die Impulsfolge des Kanals 2 zu vermeiden, wird in der Interruptroutine des Kanals 1 der Kanal 2 gesperrt. Die Integrationszeit setzt sich wie folgt zusammen

$$tK\emptyset = \frac{1}{f_{Takt}} * T\emptyset * V\emptyset \quad (2.3)$$

$$tK1 = tK2 * (ZV - 1) \quad (2.4)$$

1.

$$tK2 = \frac{1}{fTakt} * TC2 * VT2 \quad (2.5)$$

$$tI = tK1 - tK2 \quad (2.6)$$

mit TC - Wert des Zeitkonstantenregisters
 ZV - vorgewählter Zaehlerstand
 VT - Wert des Verteilers
 fTakt - Rechnergertaktfrequenz

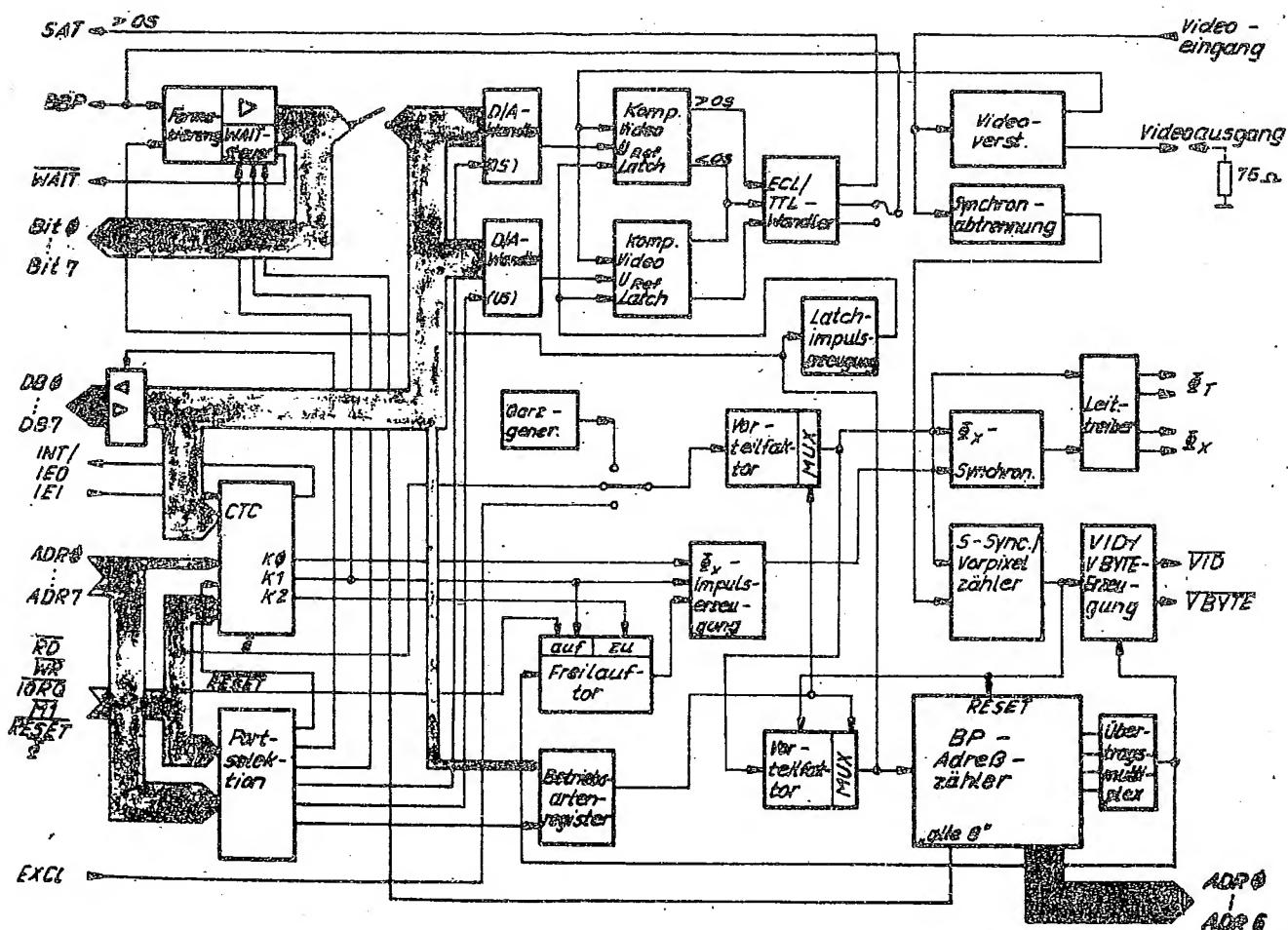


Bild 2.8: Blockschaltbild STE 1011

Einen Gesamtueberblick ueber die Struktur der Steuereinheit STE 1011 gibt das Blockschaltbild Bild 2.8.

Wesentliche technische Daten gibt die folgende Uebersicht an.

Betriebsspannung Ucc / Stromaufnahme Icc mit

ZFK 1021

+ 15 V / ca. 350 mA
+ 5 V / ca. 1 A
- 5 V / ca. 200 mA
- 15 V / ca. 200 mA

ZFK 1040

+ 24 V / ca. 360 mA
+ 15 V / ca. 200 mA
+ 5 V / ca. 1 A
- 5 V / ca. 200 mA
- 15 V / ca. 200 mA

Leistungsaufnahme

ca. 21 W

Integrationszeiteinstellung 64 µs ... 100 ms
Einstellung d. Komp.-Schwellen Ø ... + 2,5 V diskret
ueber 256 Stufen

Bildpunktfolgefrequenzverar-

beitung bei Rechnertaktfre-
quenz fR rund 2,5 MHz

fBPmax fuer ZFK 1021

5 MHz

fBPmax fuer ZFK 1040

20 MHz

Gesonderte Taktsteuerung

moeglich ueber vorhandenen
quarzgesteuerten Generator

Gesonderter Videoausgang
analog

1,0 V +- 5 % an 75 Ohm

Ø V entspricht sw

1 V entspricht ws
(ca. - Ø,2 V entspr. S-Pegel)

Digitalausgang

TTL-Pegel

Abmessungen

215 mm x 170 mm

(Karteneinschub fuer Mikro-
rechner K 1520)

Kameras und STE 1011 bilden das System BES 1000.

2.1.5. Multiplexeinheit MPE 1010

Die Baugruppe MPE 1010 ermoeglicht den Anschluss von bis zu drei Kameras ZFK 1040 oder ZFK 1021 an eine Bilderkennungseinheit BEE 1010 (siehe Abschnitt 2.1.7.).

Die Baugruppe uebernimmt fuer die angeschlossenen Kameras die Spannungsversorgung (+ 15 V; + 9 V; - 9 V) fuer ZFK 1021 bzw. (+ 18 V; + 9 V; - 9 V) fuer ZFK 1040.

Es werden von der Steuereinheit STE 1011 der Uebertragungs- und Transporttakt (ϕ_X und ϕ_T) uebernommen und auf die drei Anschluss-Stellen fuer die Kameras parallel aufgefaechert. Die von den Kameras gelieferten Nutzsignale koennen im Zeitmultiplex beliebig ueber Programm aufgerufen und der Steuereinheit STE 1011 zur Verarbeitung zugefuehrt werden. Das uebernimmt ein 1- aus 4-Analogschalter, der ueber 2 Datenbits vom Mikrorechner aus durchgeschaltet wird, wobei ein Durchschaltweg ungenutzt bleibt. Da bei den zwei jeweils nicht durchgeschalteten Signalwegen der Gegenkopplungszweig fuer den jeweiligen Schaltkreis nicht existiert, begeben sich die Ausgangsgleichspannungen dieser Eingangsverstaerker statisch auf einen ihrer zugelassenen Maximalwerte. Die Operationsverstaerker arbeiten nicht mehr. Das hat zur Folge, dass auch bei hohen Frequenzen (20 MHz) eine grosse Uebersprechdaempfung zwischen den Kanälen erreicht wird.

Die Basisadresse zum Puffern der beiden Datenbits ist ueber die Adressbreite von 00H bis FFH frei vorprogrammierbar. Arbeiten die Kameras mit unterschiedlichen Integrationszeiten, ist das programmtechnisch bei der Initialisierung zu beruecksichtigen. Bild 2.9 gibt das Blockschaltbild der MPE 1010 an.

Im folgenden einige wichtige Parameter der Multiplexeinheit.

- Elektrische Daten

Betriebsspannung Ucc / Stromaufnahme Icc

bei 3 x ZFK 1040 fBP = 20 MHz

+ 24 V / ca. 0,8 A	+ 15 V / ca. 0,65 A
+ 5 V / ca. 0,32 A	- 5 V / ca. 0,07 A
	- 15 V / ca. 0,48 A

Kanaluebersprechdaempfung >= 40 dB

Kanalumschaltgeschwindigkeit <= 1 μ s

Videoeingangsspannung Uss = 1 V an 75 Ohm

Videoausgangsspannung Uss = 1 V +- 0,2 V an 75 Ohm

Bandbreite 20 MHz (- 3 dB)

Abmessungen 215 mm x 170 mm

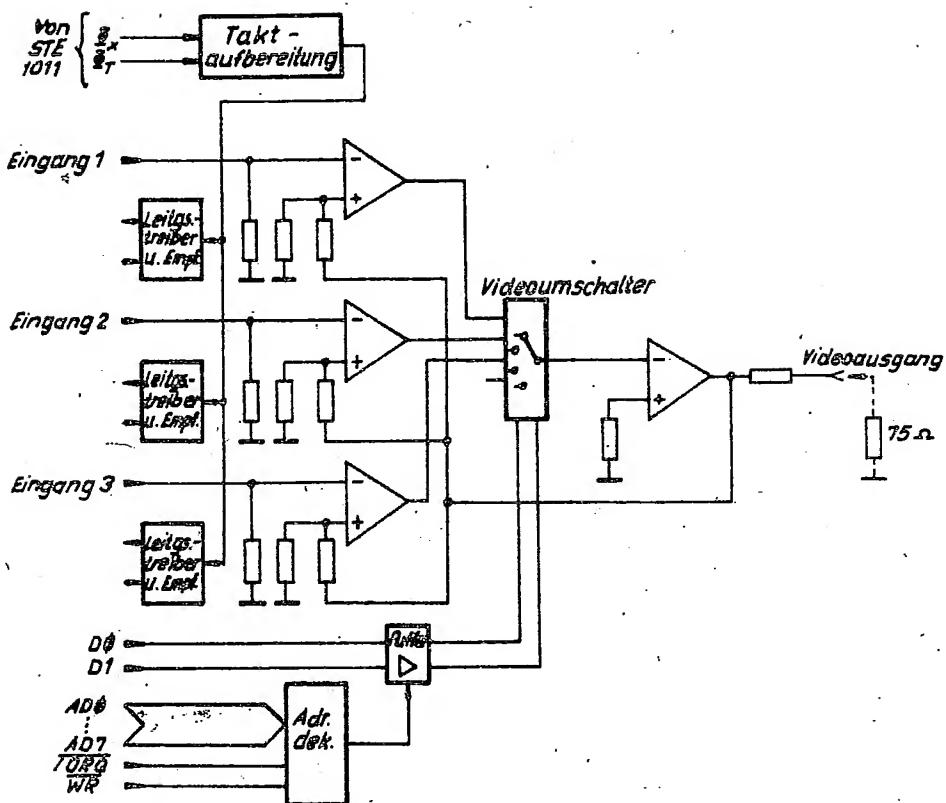


Bild 2.9: Blockschaltbild MPE 1010

2.1.6. Puffer- und Codiereinheit PCE 1010

Sowohl die Multiplex- als auch die Puffer- und Codiereinheit sind nur für den Einsatz innerhalb der Bilderkennungseinheit BEE 1010 ausgelegt und nicht als OEM-Baugruppe einzeln zu beziehen. Innerhalb der BEE 1010 ist die PCE 1010 in der Lage, mit hoher Geschwindigkeit (bis 10 MHz) anfallende Kameradaten zwischenzuspeichern, so dass sie vom Mikrorechner zu einem für den Rechenprozess günstigen Zeitpunkt ausgelesen werden können. Die Speicherkapazität beträgt 4 KByte. Der Speicher ist in 2 Blöcke von je 2 KByte aufgegliedert und so organisiert, dass in den einen Block Kameradaten eingegeben werden können, während der andere Block vom Mikrorechner ausgelesen werden kann. Dem Rechner wird dazu durch ein Sondersignal SEL (select) mitgeteilt, dass die Kamera einen Speicherblock gefüllt hat und beginnt, den anderen zu beschreiben.

Andererseits ist es möglich, diese Blockumschaltung durch einen OUT-Befehl, z.B. nach einer definierten Datenmenge, die zwischen gepuffert wurde, vom Rechner her zu bewirken.

Gelesen werden die Daten aus der PCE mit IN-Befehlen, wobei die Portadresse auf der Platine beliebig festgelegt werden kann.

Eingegeben in die PCE werden ueber den Koppelbus bei der Betriebsart "Datenpuffer" Bilddatenbytes und bei der Betriebsart "Codierer" die Bildpunktadressen. Bei der zuletzt genannten Betriebsart werden aus den Bildpunktadressen spezifische RunLength-Codewoerter fuer z.B. Zeilenanfang, Segmentgrenze, sw/ws-Sprung oder Zeilenende gebildet. Grundlage fuer die Codervorschift ist die Segmentierung des Binaerbildes in Teile zu je 128 Bildpunkten (siehe Punkt 2.3.3.). Bei beiden Betriebsarten werden die abzuspeichernden Informationen sowie weitere Sondersignale von der Steuereinheit STE 1011 zur Verfuegung gestellt. Die Puffer- und Codiereinheit ist systemkompatibel fuer das U 880-System K 1520 ausgefuehrt. Die Sondersignale werden ueber den Koppelbus

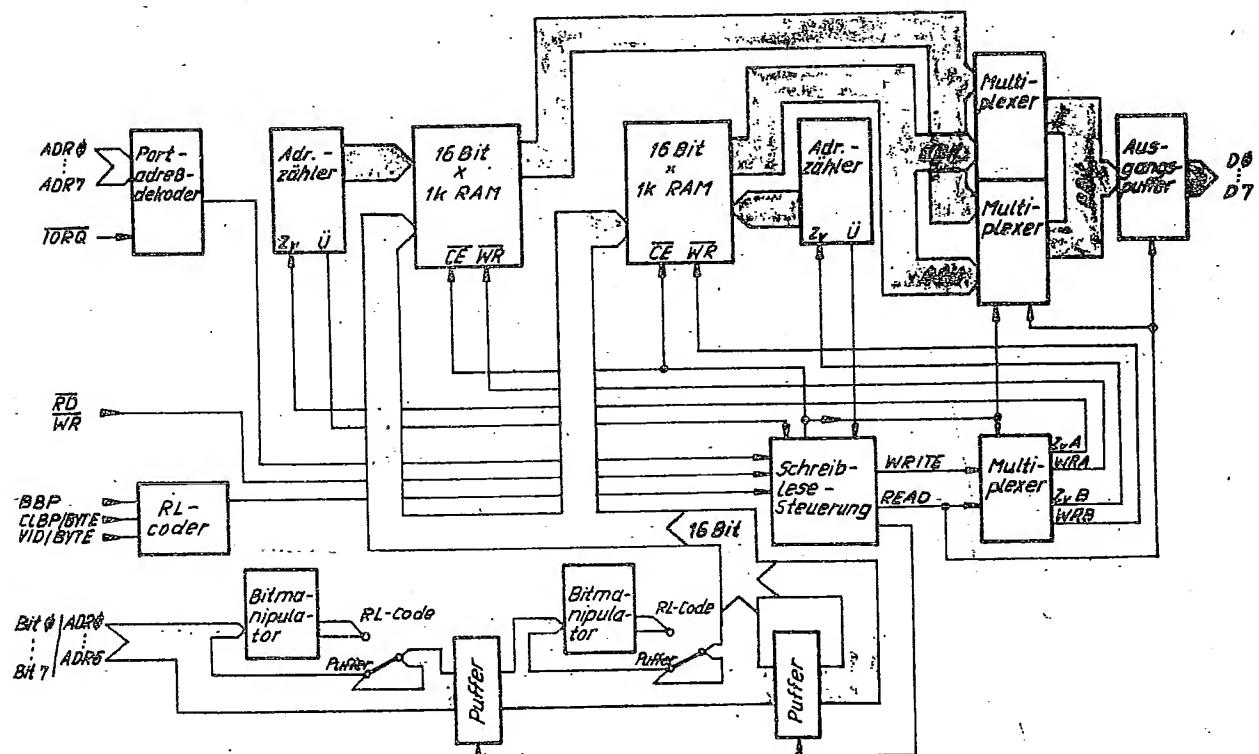


Bild 2.10: Blockschaltbild PCE 1010

gefuehrt. DMA-Verkehr ist mit der PCE moeglich, aber nicht innerhalb der BEE 1010 vorgesehen. Bild 2.10 gibt einen Ueberblick ueber den Datenfluss auf der PCE 1010.

Technische Kenngroessen der Puffer- und Codiereinheit:

- Elektrische Daten

Betriebsspannung Ucc / Stromaufnahme Icc

5 V / ca. 3,6 A

max. Byte-Einlesefrequenz 10 MHz

Speicherkapazitaet 2 x 2 KByte

Speicherart stat. RAM

- Mechanische Daten

Abmessungen 215 mm x 170 mm

2.1.7. Die Bilderkennungseinheit BEE 1010

Die BEE 1010 stellt eine der Hauptkomponenten des Bilderkennungssystems BES 2000 dar.

Die Einordnung der BEE 1010 innerhalb des Bilderkennungssystems stellt Bild 2.11. dar.

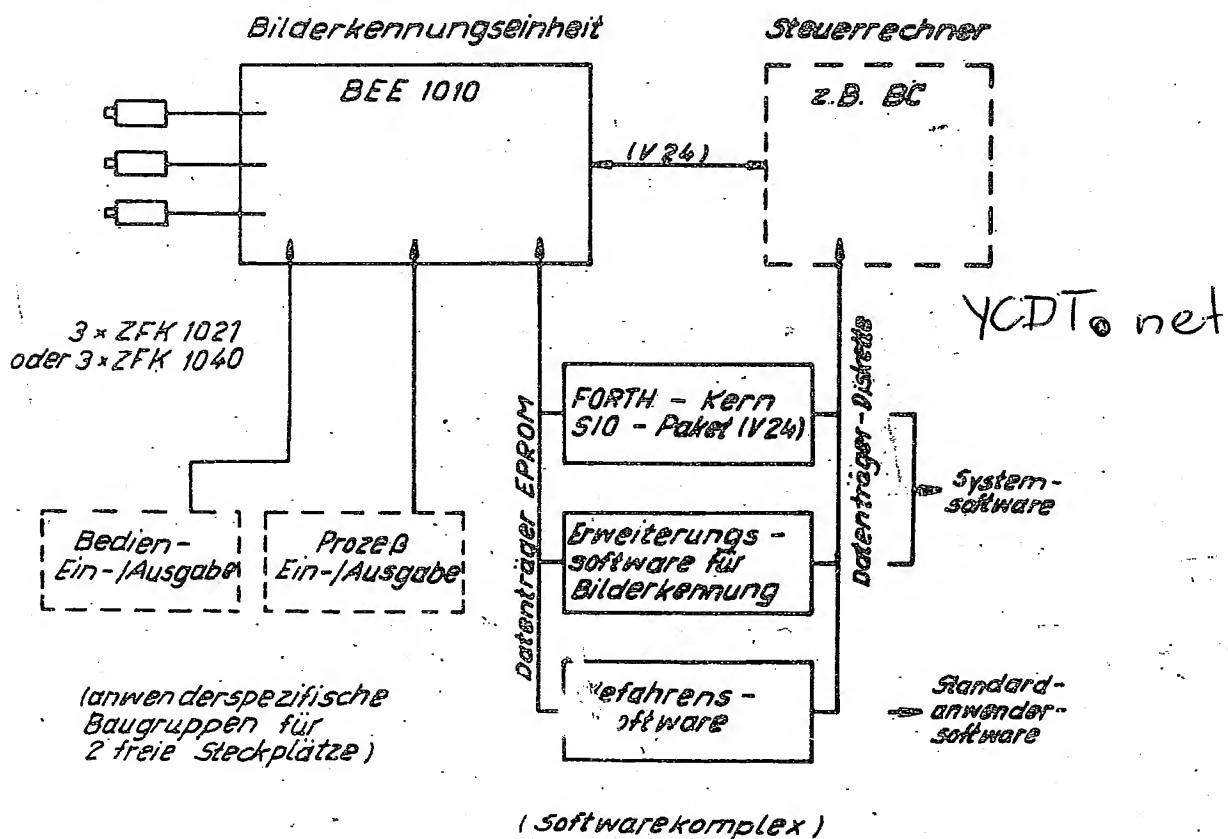


Bild 2.11: Einordnung der BEE 1010 in das BES 2000

Die Bilderkennungseinheit BEE enthaelt folgende Funktionseinheiten:

- Stromversorgung	einschliesslich Kamerastromversorgung
- Komplex Rechentechnik	Zentrale Recheneinheit
	Speicher
	Schnittstelle V24
	Ansteuerung fuer Grafikdisplay (entspr. der Variante, s.u.)
- Steuereinheit	Kameraansteuerung,
	Binarisierung der Nutzsignale
	Bildpunktadressgenerierung
- Multiplexeinheit	Anschluss von 3 CCD-Kameras
- Puffer- und Codiereinheit	schnelle Uebernahme von Bildpunktdataen mit hoher Datenrate
	Generierung von Bildpunktadressen in RL-Codierung
- 2 freie Steckplaetze	anwenderspezifisch fuer z. B. Bedien-Ein/Ausgabe; Prozess-Ein/Ausgabe

Die Art des Anwendungsfalles bestimmt die Baugruppenausstattung der BEE 1010.

1. Variante:

- Multiplexeinheit	MPE 1010
- Steuereinheit	STE 1011
- Puffer- und Codiereinheit	PCE 1010
- Zentrale Recheneinheit	ZRE K 2521
- Speicher	PFS K 3820 (16 k EPROM)
- Speicher	PFS K 3820 (16 k EPROM)
- Schnittstelle (V.24)	ASV K 8021
- Speicher	OPS K 3521.20 (4 K CMOS RAM)
- Speicher	OPS K 3525 (16 K dyn. RAM)

Implementierte Software:

Systemsoftware Variante I
(vgl. Punkt 3.5.)

2. Variante BEE 1010 fuer anspruchsvollere Verfahren

- Multiplexeinheit	MPE 1010
- Steuereinheit	STE 1011
- Puffer- und Codiereinheit	PCE 1010
- Zentrale Recheneinheit	ZRE K 2521
- Speicher	PFS K 3820 (16 K EPROM)
- Speicher	PFS K 3820 (16 K EPROM)
- Schnittstelle (V.24)	ASV K 8021
- Speicher	OPS K 3526.10 (64 K dyn. RAM)
- Videospeicher	VIS 2A (VEB Elektronik Gera)

Implementierte Software: Systemsoftware Variante II
(vgl. Punkt 3.5.)

Weitere Kenngrössen fuer die BEE 1010 werden in der folgenden Uebersicht angegeben.

- Technische Daten	
Netzspannungsanschluss	220 V + 10 % - 15 % 50/60 Hz
Leistungsaufnahme	ca. 330 VA
maximal mögliche Leistungs-	500 VA
aufnahme bei entsprechender	
sekundaerseitiger Belastung	
Schutzgrad	IP 20
- Abmessungen	
Kastengehäuse A (EGS)	480 mm x 400 mm x 300 mm
Masse	27,5 kg

2.2. Zeilenkameramess-System auf der Basis des BES 1000

Die CCD-Kameras in abgesetzter Technik ZFK 1021 und ZFK 1040 sind mit ihren Steuereinheiten STE 1010 und STE 1011 so ausgelegt, dass sie direkt auf dem Bus des K 1520 arbeiten können. Hier bietet sich nun die Möglichkeit an, bei Einsatz von Einplatinenrechnern mit K 1520-Busanschluss und einer Prozesskopplung besonders fuer Mess- und Pruefprozesse kleine Einsatzsysteme zu schaf-

fen /2.1./. In dieser Minimalkonfiguration sind eine ganze Reihe anspruchsvoller Aufgaben bis in den mittleren Geschwindigkeitsbereich kostenguenstig loesbar. Die Grundlagen wurden mit dem Verfahren der zeilenorientierten iterativen Bilderkennung geschaffen /2.2./. Fuer den schnellen Datenaustausch zwischen Kamera und Rechner ist besonders fuer die ZFK 1040 eine DMA-Einheit sinnvoll. Bild 2.12. zeigt den Aufbau eines ZKMS-Systems. Die Zeilenkamera arbeitet im extern gesteuerten Wiederholzyklus nach Bild 2.13.

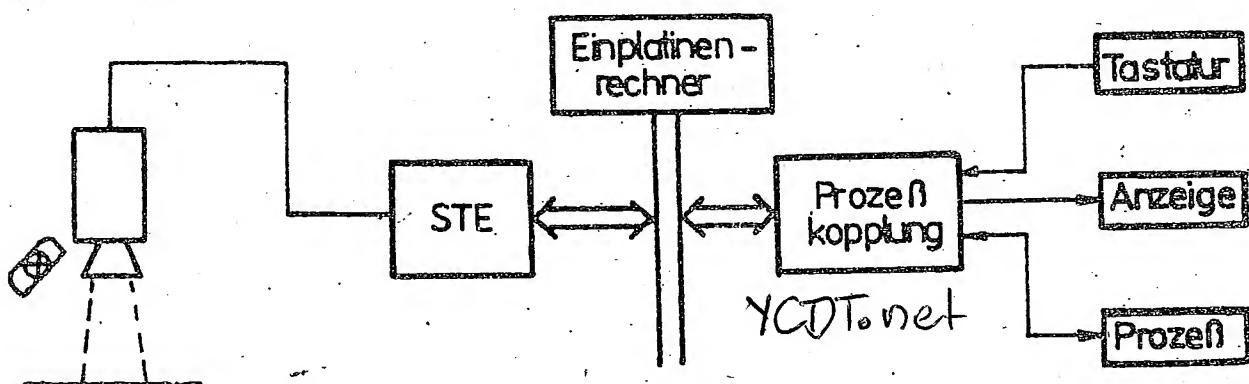


Bild 2.12: Aufbau des ZKMS-Systems

Im Zyklogramm der Zeilenkamera sind weite Zeitbereiche erkennbar, in denen die CPU nicht aktiv ist. In diesen Zeiten kann sie Operationen mit den im Datenspeicher vorhandenen Bilddaten ausfuehren. Die wichtigsten zeitlichen Groessen eines Kamerazyklus werden durch folgende drei Gleichungen charakterisiert.

$$t_i = t_{sys} * VT(TC_I - TC_\emptyset) \quad VT \dots \text{Vorteiler}$$

$$8 * K_u \quad N$$

$$t_{DAT} = \frac{--- (- + .2)}{f \quad 8} \quad TC_I, \emptyset \dots \text{Initialisierungswerte der CTC}$$

$$t_{KZ} = t_i + t_{DAT} + t_v \quad f_K = \frac{---}{2} \quad \text{Kamerafrequenz}$$

$$t_{sys} = \frac{---}{f_{sys}} \quad \text{Systemfrequenz}$$

Die Datenauslesezeit kann verkuerzt werden, indem
1. bei Taktversorgung der Kamera vom Rechner die Systemfrequenz

erhöht wird, z.B. beim UA 880; die Synchronisierung zwischen Rechner und Steuereinheit der Kamera erfolgt hier durch die Datenformatierung und den Eingabebefehl INI mit 16 Systemtakten,

- bei Taktversorgung über einen Quarz auf der STE; eine Synchronisierung kann hier nur über DMA-Betrieb erfolgen, wobei eine beträchtliche Reduzierung von t_{DAT} erreicht wird.

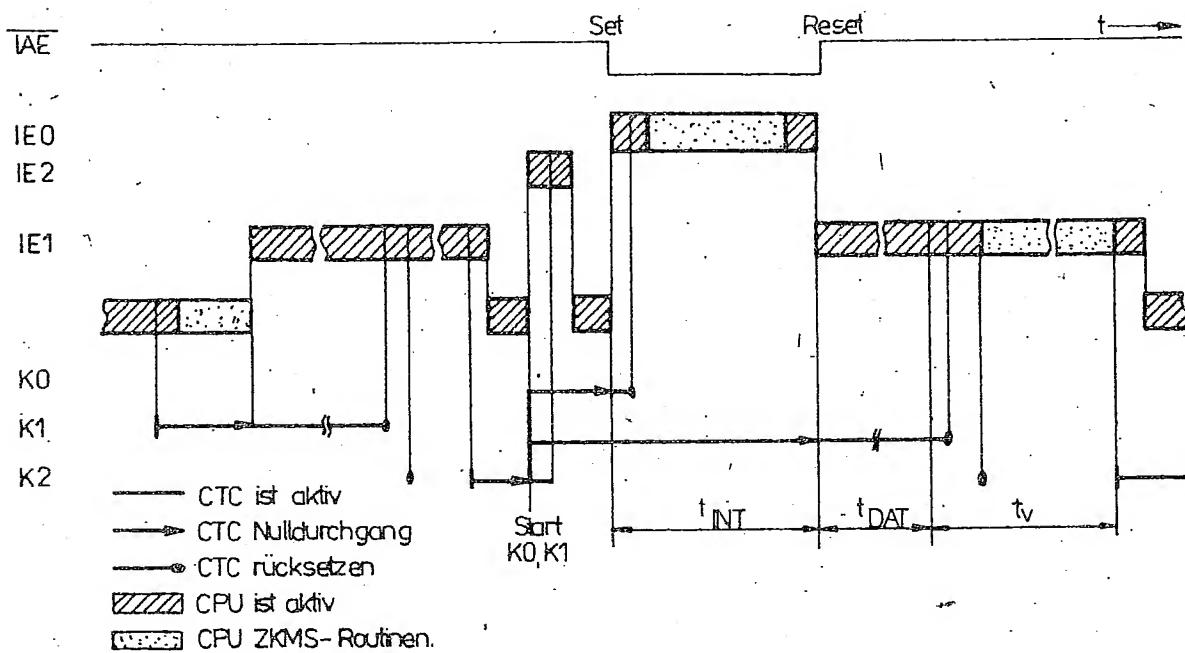


Bild 2.13: Zyklogramm der Zeilenkamera mit extern gesteuertem Wiederholzyklus

Beim ZKMS-System wird das vollständige Zeilensignal nach einer erfolgten Integration in einem Speicherbereich des Einplatinenrechners abgelegt. Der Kamerazyklus läuft in einer ständigen Folge von Interruptzyklen ab, die durch den Zähler-Zeitgeberbaustein (CTC) auf der STE gesteuert werden. In die Interruptzyklen werden die Tabellen- und Operationsmodule eingelagert. Vorrangig erfolgt die Einordnung der ersten in den Interruptzyklus, der zeitparallel zur Integrationszeit läuft und Daten des vorhergehenden Integrationszyklus auswertet. Im darauffolgenden Kamerazyklus werden während der Integrationszeit von der CPU die im Speicher vorhandenen Daten mittels Tabellenoperationen zu zeilen-

relevanten Zwischenergebnissen verdichtet und in einem weiteren Speicherbereich abgelegt. Die von der Kamera kommenden Daten gelangen mit jedem Kamerazyklus auf den gleichen Speicherbereich. Die iterative Aufbereitung der zeilenrelevanten Zwischenergebnisse zu Merkmalen erfolgt nach dem Einlesen der aktuellen Daten. Der Abbruch des iterativen Vorganges kann intern (durch den Algorithmus) und extern (vom Prozess) vorgenommen werden. Damit wird die Entscheidungsfindung bei einem Erkennungsvorgang oder die Ausgabe der Merkmale eingeleitet. Anstelle des Abbruchs der iterativen Merkmalberechnung kann auch ein neuer Algorithmus mit anderen Kriterien aufgerufen werden. Eine Darstellung des iterativen Vorganges im ZKMS zeigt Bild 2.14.

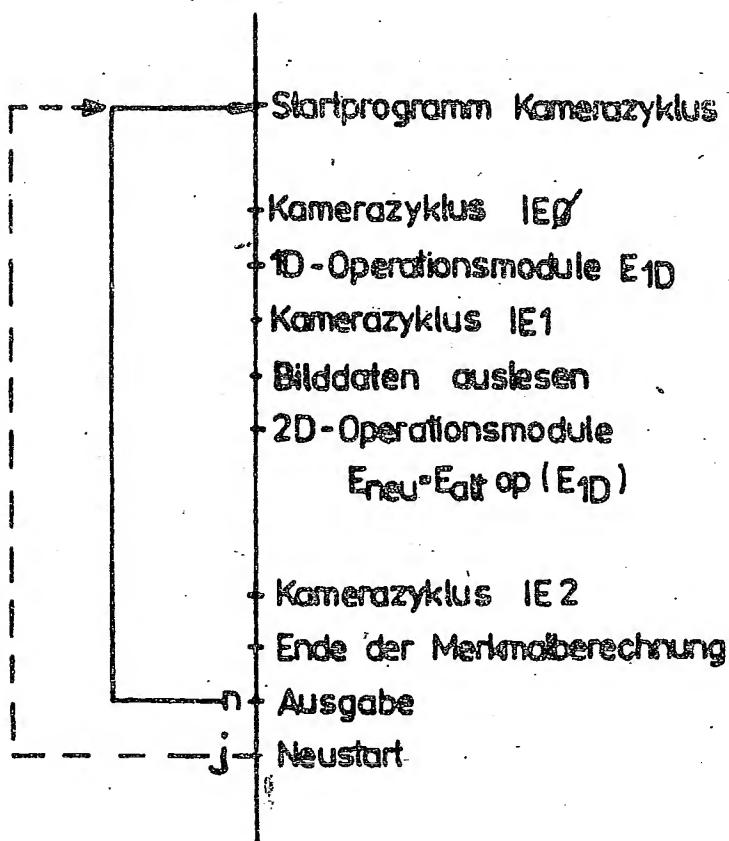


Bild 2.14: Iterative Aufarbeitung der Bildmerkmale

Die Ausgabe der Ergebnisse erfolgt über die Prozesskopplung. Die Software des ZKMS-Systems besteht aus einem kleinen Nutzerrahmen für Bedienung und Fehleranzeige, den zur Hardware-Steuerung notwendigen Treibern, den Modulen zur Tabellenarbeit und den iterativen Operationsmodulen der Bilderkennung. Bei diesem System werden die Tabellenalgorithmen und die Operationsmodule in den Kame-

razyklus eingebunden. Sehr viel Aufmerksamkeit muss auf die Einhaltung der zeitlichen Verhaeltnisse gelegt werden. Die Tabellen- oder Verarbeitungsmodule, die zeitparallel zur Integrationszeit laufen, muessen die folgende Bedingung einhalten:

$$\sum t_{op} \leq t_i$$

Ist die Summe der einzelnen Verarbeitungszeiten der Operationsmodule groesser als die Integrationszeit, so sind die Operationsmodule nach der Dateneingabe abzuarbeiten.

Bei den vorhandenen Tabellen- und Operationsmodulen bereitet es keine Schwierigkeiten, Kamerazykluszeiten von 2 ms mit dem eingelagerten Integrationszyklus von 1 - 1,8 ms zu realisieren. Fuer die Anpassung an den Produktionsprozess und die Selbstueberwachung existieren eine ganze Reihe von Hilfsmodulen. Aus Zeitgrunden sind diese in Maschinensprache ausgefuehrt und ueber einen Assembler erstellt. Systeme nach dem beschriebenen Verfahren haben sich vor allem bei kontinuierlichen Prozessen in der Produktion bewaeht. Im Teil IV werden eine Uebersicht gegeben und Einsatzfaelle beschrieben.

Fuer die effektive Zusammenstellung der Module und eine problemorientierte Anpassung ist der Einsatz eines Entwicklungsarbeitsplatzes /2.3./ sinnvoll, aber nicht Voraussetzung. Das Zeilenkameramess-System ist durch das feste Zeitregime, vorgegeben durch den Zeilenzzyklus (Bild 2.13.), den geringen Aufwand und den interativen Bilderkennungsalgorithmus gekennzeichnet. Fuer einen abgeschlossenen Bilderkennungszyklus kann folgende Zeitbeziehung angegeben werden:

$$t_s = (t_i + t_{DAT} + t_V) * z + t_{AW} \quad (2.7)$$

Dabei ist t_s die Zeit von der Aufnahme der ersten Zeile bis zur Ausgabe der Entscheidung, z die Anzahl der in die Auswertung einbezogenen Zeilen und t_{AW} die Laufzeit des Entscheidungsalgorithmus. Eine weitere Ausbaustufe und eine betrachtliche Steigerung der Leistungsfaehigkeit der zeilenorientierten iterativen Bilderkennung ist unter Nutzung des BES 2000 moeglich. Insbesondere kann die Mustererkennung auf Kameras mit 1024 Bildpunkten erweitert werden.

2.3. Laengenmessung und flaechenhafte Bildabtastung beim System BES 2000

2.3.1. Zeitliche Ablaeufe bei der Sensordateneubertragung in den Mikrorechner

Zur Erlaeuterung der zeitlichen Ablaeufe f. die Gewinnung des Zeilensorausgangssignals dient Bild 2.15. Dabei ist dieses Bild nur als "Ersatzschaltbild" zur Funktionserklaerung anzusehen. Die Takte und Register im realen CCD - Sensor sind anders gestaltet und Katalogen zu entnehmen.

lichtempfindliche Elemente

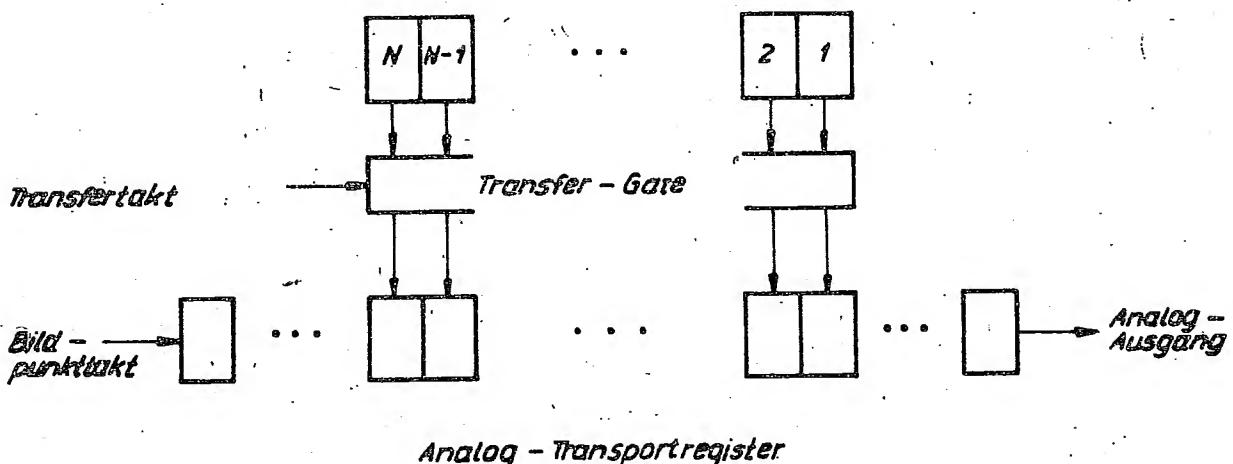


Bild 2.15: "Ersatzschaltbild" einer CCD-Zeile zur Verdeutlichung des Zusammenhangs zwischen Bildpunkttaakt und Integrationszeit

In den lichtempfindlichen Sensoren (256 fuer die L 110 C, 1024 fuer die L 133 C) werden Ladungen akkumuliert. Mit einem Transferaakt werden sie ueber Transfergates in ein Transportregister uebernommen. Gleichzeitig werden die Sensorelemente rueckgesetzt und auf die Akkumulation neuer Ladungen vorbereitet. Die Ladungsmaenge in den Sensorelementen bis zur Saettigung ist eine nahezu lineare Funktion der Beleuchtungsintensitaet und der Zeit zwischen 2 Transferimpulsen, der Integrationszeit (entspricht der Belichtungszeit in der Fotografie).

Das Analogtransportregister hat ausser den Zellen, die den Sensorelementen zugeordnet sind, Registerzellen am Anfang und am

Ende der Zeile fuer Referenzwerte (Weiss und Schwarz), Isolationszellen und weitere fuer die Bauelementefunktion notwendige Zellen. Das Transportregister wird unabhaengig vom Transfertakt mit dem Bildpunkttaakt ausgelesen. Nach dem vollstaendigen Auslesen des Transportregisters ist es leer und mit einem Transfertakt kann die naechste Zeileninformation in das Register uebernommen werden. Ein Transfertakt waehrend des Transports fuehrt zur Ueberlagerung zweier Zeileninformationen und soll hier ausgeschlossen werden. Daraus ergibt sich als kuerzeste Integrationszeit die Summe aus der Auslesezeit fuer das Transportregister und der Laenge des Transfertakts. Sie betraegt fuer die Kamera mit der L 110 C 256 + 35 Bildpunkttaakte mit der L 133 C 1024 + 62 Bildpunkttaakte. Mit den maximalen Taktfrequenzen fuer die Sensoren ergeben sich die minimalen Integrationszeiten in der ersten Zeile der Tabelle 2.1.

Tab. 2.1. Maximale Bildpunkttaaktfrequenz und minimale Integrationszeit fuer die verschiedenen Formen der Eingabe binaer abgetasteter Objekte

Betriebsart	max. Bildpunkttaakt	min. Integrationszeit
freilaufend	5 MHz L 110 C 20 MHz L 133 C	60 μ s 54 μ s
Eingabe binaer gepackt von STE		
MR-Takt 2.5 MHz		
	1.25 MHz	230 μ s L 110 C 870 μ s L 133 C
MR-Takt 4 MHz		
	2 MHz	145 μ s L 110 C 550 μ s L 133 C
Eingabe binaer gepackt ueber PCE	5 MHz L 110 C 20 MHz L 133 C	60 μ s 54 μ s
Eingabe Run - Length - Code ueber PCE	5 MHz L 110 C 10 MHz L 133 C	60 μ s 110 μ s

Die längste sinnvolle Integrationszeit hängt von physikalischen Eigenschaften der Sensoren ab (thermisch generierter Dunkelstrom) und liegt bei Zimmertemperatur bei einigen 10 ms.

Die Auslösung von Transfertakten wird auf der Steuereinheit durch die Kanäle 0 bis 2 eines CTC - Bausteins gesteuert. Nach dem Einschalten des Mikrorechners (Reset) oder nach einem Impuls am CTC - Ausgang ZZ1 befindet sich die Kamera im Freilaufbetrieb. In dieser Betriebsart werden nach jedem Auslesen des Transportregisters automatisch Transfertakte erzeugt. Datengültigkeitssignale (/VID; /VBYTE) werden nicht generiert, so dass die ausgelesenen Informationen nicht in den Rechner übernommen werden. Durch den Freilaufbetrieb wird verhindert, dass die Kamera in die Sättigung läuft, wenn die Programmsteuerung ausfällt. Vorteilhaft ist auch, dass ohne Programmsteuerung eine Funktionsüberprüfung und Justage der Kamera möglich ist (Beobachtung des Analogsignals mit einem Oszilloskop).

Den zeitlichen Ablauf für die Eingabe einer Bilddatenzeile in den Rechner zeigt Bild 2.16. Ein Ausgangssignal am CTC - Kanal 2

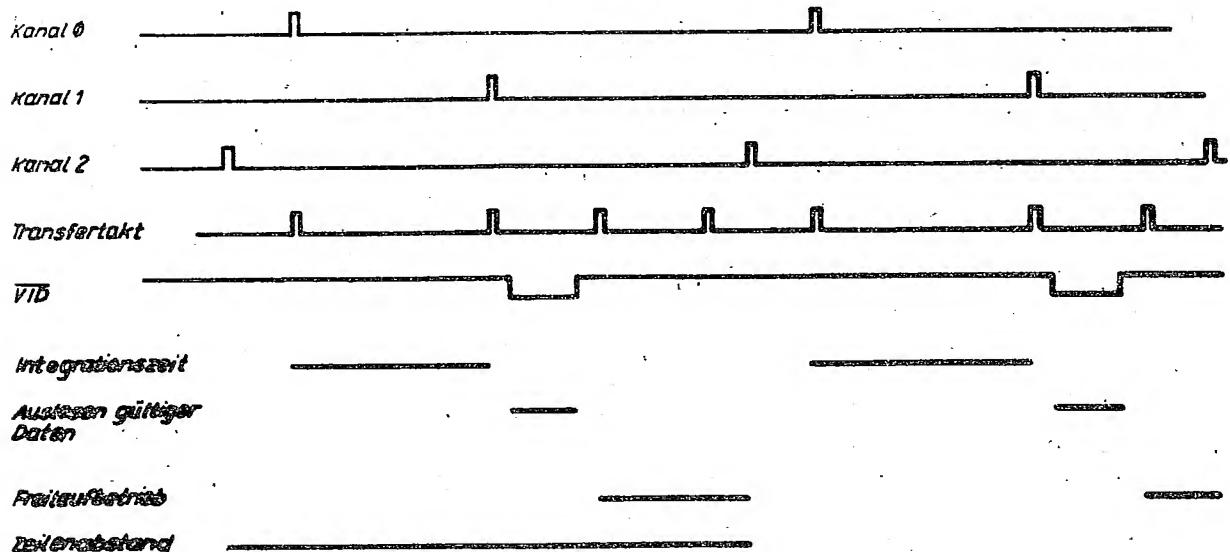


Bild 2.16: Steuerung des Zeilensensors durch den CTC-Baustein

stoppt den Freilaufbetrieb. Kanal 0 löst einen Transferimpuls aus (Leeren der Sensorelemente) und startet die Integration von Ladungen. Kanal 1 löst einen weiteren Transferimpuls aus. Die während der Integrationszeit akkumulierten Ladungen werden in das Transportregister übernommen und mit dem Bildpunkttakt aus-

gelesen. Waehrend der Ausgabe der Bildpunktinformationen bzw. der Ausgabe der binaer gepackten Datenbytes wird dem Rechner durch Signale /VID und /VBYT angezeigt, dass gueltige Daten eingelesen werden koennen. Aus dem Bild 2.16. ist ersichtlich, dass einfache Programmstrukturen mit einer einfachen Aenderungsmoeglichkeit fuer Integrationszeit und Zeilenabstand erreicht werden koennen, wenn Kanal 0 und Kanal 1 durch Kanal 2 getriggert werden. Dann bestimmt die Zeitkonstante von Kanal 2 den Zeilenabstand und die Differenz der Zeitkonstanten von Kanal 1 und 2 die Integrationszeit.

Die Kamerasteuerplatine ermoeglicht ueber einen Eingabeport die Eingabe binaer gepackter Datenbytes (32 Byte/Zeile fuer die L 110 C, 128 Byte/Zeile fuer die L 133 C) in den Rechner. Die schnellste Porteingabe von Datenbloecken ermoeglicht der INI-Befehl (16 Mikrorechnertakte). Daraus ergibt sich fuer diese Eingabe der halbe Mikrorechnertakt als maximale Bildpunktfrquenz. Bild 2.17: zeigt die zeitlichen Ablaeufe waehrend der Rechnerdateneingabe. Nach dem Nulldurchgang des Zaehlers 1 (Integrationsende) fuehrt der Rechner den ersten INI - Befehl aus. Zur Synchronisation geht der Rechner in den WAIT - Zustand, bis von der Steuereinheit das erste Datenbyte ausgegeben werden kann (entsprechende Wickelbruecke auf der STE zur WAIT- Generierung oder -Unterdrueckung). Weitere WAITS werden fuer die naechsten INI - Befehle erzeugt, wenn die Bildpunktfrquenz unter dem angegebenen Wert liegt.

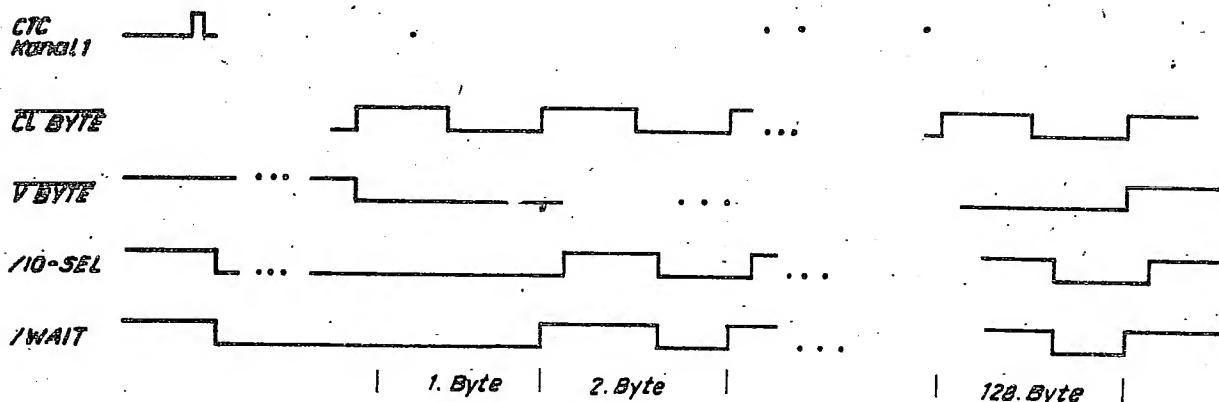


Bild 2.17: Taktdiagramm zur Rechnerdateneingabe, (8 binaere BP/Byte) fuer die L 133 C

Fuer die Eingabe von Daten ueber die Puffer - Codier - Einheit (PCE) wird die maximale Bildpunktfrquenz durch die PCE

(10 MHz/Byte) oder durch die maximale Taktfrequenz des Sensors begrenzt. Tab. 2.1. zeigt fuer die verschiedenen Eingabemoeglichkeiten die maximale Bildpunktfrquenz und die daraus abgeleitete kuerzeste Integrationszeit.

2.3.2. Laengenmessung

Zeilenkameras des Bilderkennungssystems BES 2000 koennen vorteilhaft fuer Vermessungsaufgaben (Laengen-, Dickenmessung) eingesetzt werden. Dabei haengt die Einsatzkonfiguration von den vorgegebenen Prozessparametern wie Messgenauigkeit, Messzeit, Anzahl der Messungen pro Zeiteinheit und Stoerungseinflussen ab. Die optische Auflösung ist durch den Mittenabstand der einzelnen Sensorelemente (13 um) und die Anzahl der Sensorelemente begrenzt. Dadurch wird es fuer die Vermessung von Objekten der Breite b mit der Messgenauigkeit Δb fuer den Fall $b/\Delta b >$ Anzahl der Sensorelemente notwendig sein, mit 2 Kameras (bekannter Abstand) eine Vermessung der beiden Objekträger vorzunehmen. Dabei steigen die Schwierigkeiten der genauen optischen Justage der beiden Kameras.

Fuer den Fall, dass ein Objekt unter gleichen Bedingungen mehrmals abgetastet werden kann, laesst sich die Messgenauigkeit durch mehrmalige Abtastung mit verschiedenen Binarisierungsschwellen erhöhen. Aus dem Verlauf des dadurch ermittelten Grauwertprofils kann die Lage der Objektkante genauer ermittelt werden.

Die Messzeit (Integrationszeit) haengt von der Beleuchtungsstärke, von der Objektbewegungsgeschwindigkeit und vom Bildpunkttaakt ab. Bei bewegten Objekten wird man bemüht sein, eine möglichst kurze Integrationszeit einzustellen, um den unvermeidlichen Mittelungsfehler durch die Objektbewegung gering zu halten. Kurze Integrationszeiten haben aber zur Folge, dass das Zeilenkameraausgangssignal sinkt und damit der Signal-Dunkelstrom-Abstand und die Messgenauigkeit abfällt. Das kann durch höhere Beleuchtungsstärken ausgeglichen werden, wobei der Aufwand für die Erzeugung einer hohen und gleichmässigen Strahlungsintensität steigt.

Der Mikrorechner kann von der Steuereinheit direkt binär ge-

packte Datenbytes einlesen. Maximaler Bildpunktakt und kuerzeste Integrationszeit sind der Tabelle 2.1. zu entnehmen. Nach dem Einlesen muss der Mikrorechner die abgespeicherten Datenbytes (32 bzw. 128) auswerten, bevor fuer eine kontinuierliche Prozessueberwachung die naechsten Zeilen eingelesen werden koennen. Die maximale Auswertezeit bestimmt die Anzahl der Messungen pro Zeit-einheit. Die Wiederholfrequenz der Messungen kann erheblich gesteigert werden, wenn die Zeilendaten in der Puffer - Codier - Platine als Run -Length- Code- Zahlen zwischengespeichert und die Daten mehrerer Zeilen nacheinander aus der Puffer - Codier - Platine ausgelesen werden. Die Auswertezeit sinkt, da nur noch wenige Datenbytes (Schwarz/Weiss - bzw. Weiss/Schwarz - Ueber-gaenge) pro Zeile verarbeitet werden muessen. Die Wiederhol-frequenz haengt hierbei von der mittleren Auswertezeit ab. Ausserdem wird eine zeitliche Entkopplung der Zeilendatenaufnahme von der Mikrorechnerbefehlsabarbeitung erreicht. Der Mikrorechner kann hoher priorisierte Prozesse vorrangig bedienen, ohne dass Zeilensensordaten verloren gehen.

Um eine zeitliche Zuordnung der aus der Puffer - Codier- Platine eingelesenen Daten mit den Objektkoordinaten zu gewaehrleisten ist es zweckmaessig, den /VID-Ausgang mit dem Clockeingang des CTC-Kanals 3 der Steuereinheit zu verbinden. So kann bei jedem Umschalten auf den anderen Speicherbereich (entweder durch einen Mikrorechner -OUT- Befehl oder wenn durch die Kamera eine Spei-chersseite vollgeschrieben ist), der Zaehlerstand des Kanals 3 durch den Mikrorechner ausgelesen werden und eine zeitliche Zuordnung der aktuellen Zeile erfolgen.

2.3.3. Flaechenhafte Abtastung

Die Aussagen zur Laengenmessung lassen sich auch auf die Flae-chenabtastung uebertragen. Hier treten zusaetlich fuer die ver-schiedenen Anwendungen Probleme durch die begrenzte Rechnerspei-cherkapazitaet von 64 kByte, den Ausgleich von Ungleichmaessig-keiten in der Objektbewegung und die Gewaehrleistung einer Abta-stung im quadratischen Raster auf. Fuer die Abspeicherung eines abgetasteten Bildes steht nur ein Teil des Rechnerspeichers zur Verfuegung. Liest man binaer gepackte Datenbytes aus der Steuer-einheit in den Rechner ein, lassen sich fuer die L 110 C in

32 KByte 1024 Zeilen, fuer die L 133 C nur 256 Zeilen abspeichern. Fuer viele Anwendungen ist es deshalb guenstiger, die modifizierten Run- Length- Code Daten abzuspeichern und zu verarbeiten. Unter Run -Length -Codierung wird hier die Abspeicherung der Adressen der Weiss/Schwarz - bzw. Schwarz/Weiss - Uebergaenge waehrend der zeilenweisen Abtastung verstanden. Da diese Daten bildinhaltsabhaengig asynchron und maximal mit Bildpunktgeschwindigkeit anfallen, ist eine Eingabe in den Rechner nur ueber die Puffer - Codierplatine moeglich. Da fuer die einfache Run - Length - Codierung die Datenwortbreite abhaengig von der Zeilenlaenge ist, wurde eine modifizierte Form mit fester Wortbreite (Byte) verwendet. Diese Form ermoeglicht eine einheitliche Abspeicherung und Bildverarbeitung unabhaengig von der Zeilenlaenge und benoetigt fuer viele Anwendungen einen geringen Speicherplatz fuer die Abspeicherung eines ganzen Bildes.

Dazu wird die Zeile in Segmente von 128 Bildpunkten aufgeteilt, und waehrend der zeilenweisen Abtastung werden Datenbytes gemaess Tabelle 2.2. abgespeichert. An den Segmentgrenzen und am Zeilenende werden auch dann Datenbytes abgespeichert, wenn kein Weiss/Schwarz - oder Schwarz/Weiss - Uebergang auftritt. So ist eine eindeutige Adressenzuordnung fuer auftretende Uebergaenge moeglich. Durch die besondere Kennzeichnung des Zeilenendes koennen Bildinformationen nacheinander abgespeichert und mit Rechnerprogrammen der Beginn einer neuen Zeile detektiert werden, ohne dass eine spezielle Speichertabelle fuer die Zeilenidentifikation angelegt werden muss.

Mit der Puffer - Codier - Platine koennen diese asynchron anfallenden modifizierten Run - Length - Code - Daten bis zu einer Bildpunkttaefrequenz von 10 MHz aufgenommen und z.B. fuer ein Bildformat von 512 * 512 Bildpunkten mit durchschnittlich 10 Uebergaengen/Zeile in Videogeschwindigkeit ganze Binaerbilder in den Mikrorechner uebernommen werden. Fuer leere Zeilen werden 2 (L 110 C) bzw. 8 Byte (L 133 C) abgespeichert. So koennen mit 16 Schwarz/Weiss- bzw. Weiss/Schwarz- Uebergaengen im Mittel pro Zeile allein in dem 4 K Speicher der Puffer - Codier - Platine 220 Zeilen fuer die L 110 C und 170 Zeilen fuer die L 133 C uebernommen werden. Da jeweils bis zu 2 KByte waehrend der Abtastung in den Rechnerspeicher gegeben werden koennen, lassen sich so Binaerbilder relativ grosser Aufloesung im Speicher des

8-Bit-Rechners ablegen.

Tab. 2.2. Modifizierte Run - Length - Code - Daten

Abgespeichertes Datenbyte	Bedeutung
D7 D6 D5 D4 D3 D2 D1 D0	
0 AD6 AD5 AD4 AD3 AD2 AD1 AD0	Uebergang nicht am Anfang und nicht am Ende der Zeile
1 0 0 0 0 0 0 0	Uebergang am Anfang der Zeile
1 AD6 AD5 AD4 AD3 AD2 AD1 1	Uebergang am Ende der Zeile
1 AD6 AD5 AD4 AD3 AD2 /AD1 1	Kein Uebergang und Zeilenende
1 1 1 1 1 0 0	Kein Uebergang und Segmentgrenze

ADi = Bildpunktadresse i-tes Bit

Guenstig bei der Verwendung der Puffer - Codier - Platine ist auch hier wieder, dass wie bei der Laengenmessung Bildaufnahme und Verarbeitung entkoppelt sind. So ergibt sich ein Zeitgewinn fuer die Verarbeitung. Aus den Run - Length - Code Zahlen lassen sich auch einfacher als aus den binaer gepackten Daten morphometrische Merkmale gewinnen. Lediglich fuer Anwendungen, in denen die mittlere Anzahl der Uebergaenge pro Zeile sehr gross ist, wird man fuer die Fleischenabtastung die binaer gepackte Darstellung waehlen.

Das Auslesen von Daten aus der Puffer - Codier - Platine kann je nach Anwendung entweder nach einem Umschaltsignal (SEL) der Puffer - Codier - Platine oder nach dem Ausloesen eines Umschaltsignals durch den Mikrorechner erfolgen. Im letzteren Fall muss das Ausloesen des Umschaltsignals durch den Mikrorechner mit der Kamera synchronisiert sein, damit nicht waerrend einer Dateneingabe ein Umschalten erfolgt. Zweckmaessig ist es auch hier, das /VID - Signal mit dem Takteingang des Zaehler 3 der CTC auf der Steuerplatine zu verbinden und mit der positiven Flanke die abgetasteten Zeilen zu zaehlen. Die Bildaufnahme wird fuer viele An-

wendungen durch eine Bildanfangserkennung initiiert. Dafuer kann nach jeder Zeilenabtastung der Mikrorechner mit einem OUT - Befehl ein SEL - Signal erzeugen und die abgetasteten Zeilen sofort einlesen und auswerten. Beginnt das Bild, wird nicht mehr umgeschaltet. Der Zeitpunkt fuer den Bildanfang startet eine Zaehlkette (Uhr), die nach der vollstaendigen Abtastung und Verarbeitung eine Bestimmung der Objektkoordinaten ermoeglicht.

Bilddaten werden in den Rechner eingelesen, wenn eine Speicherseite der Puffer - Codier - Platine gefuellt ist oder ein vorgegebenes Zeitlimit ueberschritten ist.

Vom Abstand der abgetasteten Zeilen haengt der Abbildungsmasstab in Abtastrichtung ab. Dieser Abstand laesst sich durch Programmierung des Zaehlers 2 auf der Steuereinheit in weiten Grenzen einstellen und so bei vorgegebener Objekttransportgeschwindigkeit ein quadratisches Bildraster unabhaengig von der Integrationszeit einstellen... Wird die Objekttransportgeschwindigkeit z.B. durch inkrementale Geber gemessen, koennen Unregelmaessigkeiten im Transport durch externe Triggerung des CTC- Kanals 2 ausgeglichen werden.

Unabhaengig davon laesst sich die Intergrationszeit z.B. fuer den Ausgleich von Beleuchtungsschwankungen veraendern.

2.4. Systemkompatible Ergaenzungen

2.4.1. Binaerbildprozessor

Fuer die Erweiterung der Funktion und zur schnellen Bilddatenverarbeitung des BES 2000 wurde ein Bildprozessor entwickelt. Er ist so ausgelegt, dass er sowohl die Funktion eines Bildmerkmalprozessors als auch eines Arithmetikprozessors ausueben kann. Dieser Spezialrechner fuer die Bildverarbeitung ist nur mit Schreib-Lese-Speichern (RAM) sowie der gesamten Steuerlogik (Arbitrer) als Einplatinenrechner mit 16 bit Datenbreite ausgefuehrt. Als CPU kommt der U 8002 zum Einsatz. Den Aufbau zeigt Bild 2.18. Der interne Speicherumfang ist mit 128 kByte realisiert.

Durch die Schaffung zweier Bussysteme (Videobus und Systembus K 1520) ist der Prozessor aeusserst vielfaeltig in der Bildverar-

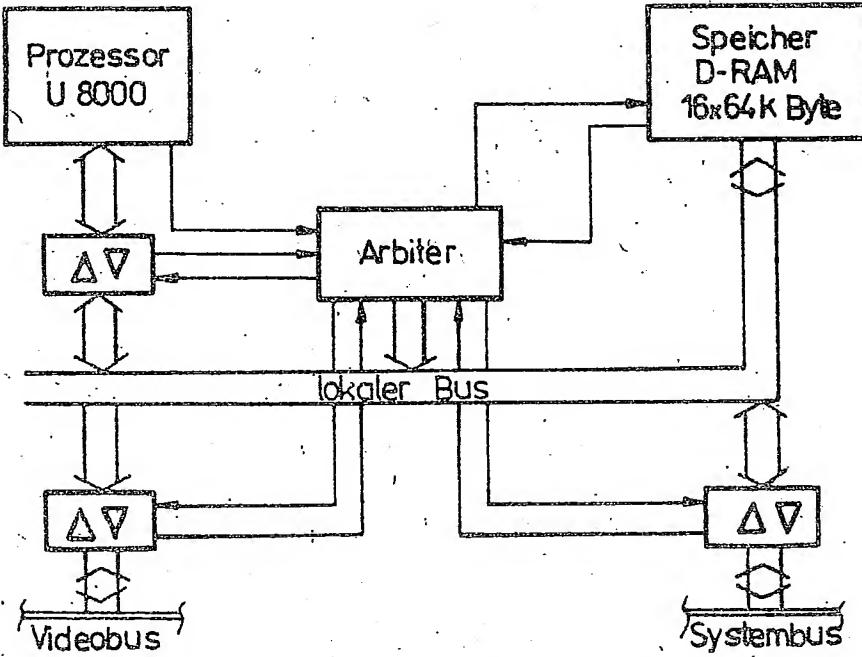


Bild 2.18: Aufbau des Bildprozessors

beitung einsetzbar. Der Bildprozessor verfügt über ein eigenes (lokales) 16-bit-Bussystem, das den Rechner befähigt, unabhängig von den beiden äußeren Bussystemen mit dem internen Speicher zusammenzuarbeiten. In der Betriebsart als Bildmerkmalprozessor lassen sich in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung und den Geschwindigkeitsanforderungen mehrere Rechner parallel zwischen Videobus und Mikrorechnerbus nach Bild 2.19. aufreihen.

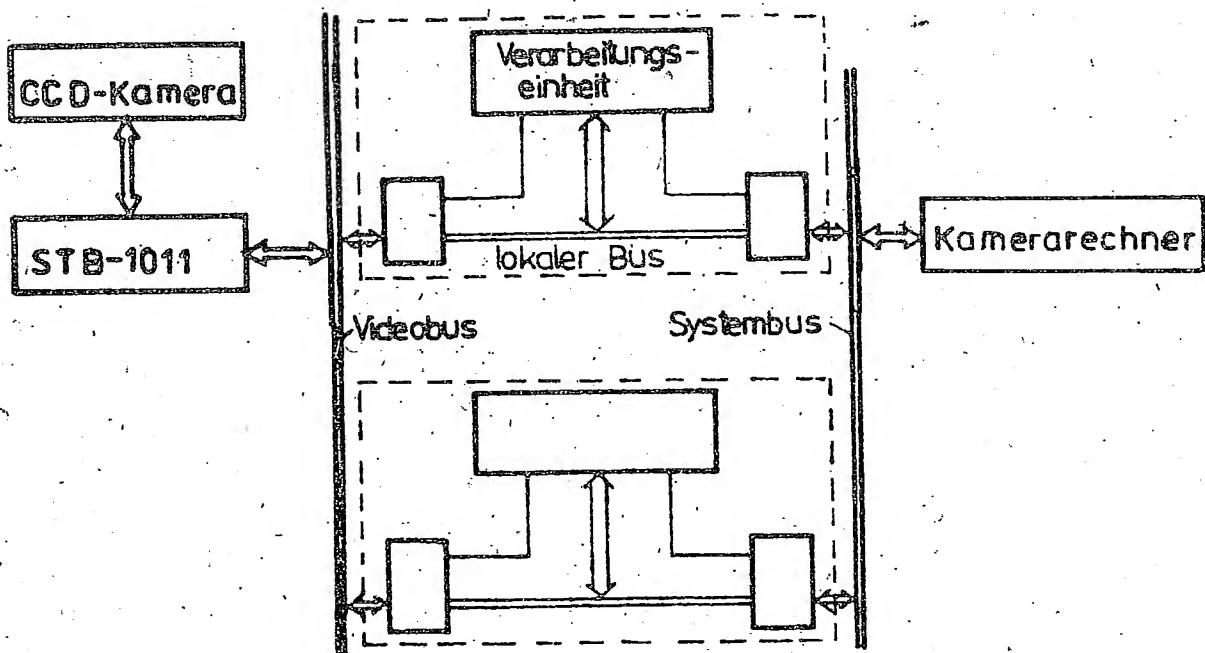


Bild 2.19: Parallelanordnung mehrerer Bildprozessoren

Durch die Auslegung der Hardware ist es gewaehrleistet, dass nach der Datenuebergabe von der Kamera jeder der parallelen Bildprozessoren die eingehenden Daten nach unterschiedlichen Programmen auswerten. Die Auswerteprogramme und die Hierarchie der Parallelanordnung wird waehrend der Initialisierungsphase des Kamerarechners (BEE 1010) ueber den Mikrorechnerbus den Bildprozessoren mitgeteilt und in einem Teilbereich des RAM ueberspielt. Hierbei wird jedem Bildprozessor sein Auswertealgorithmus zugewiesen, d.h. welcher Merkmalsatz oder welches Einzelmerkmal zu berechnen ist. In dieser Betriebsweise liegt das Bildprocessorsystem im direkten Bilddatenfluss zwischen Steuereinheit mit Kamera und CPU des Kamerarechners. Fuer Anwenderloesungen kann ein Bildprozessor die gesamte Verarbeitung vornehmen und nacheinander die Verarbeitungsoperationen, (z.B. Bildsegmentierung, Merkmalberechnung) abarbeiten. Fuer schnellere Loesungen ist die Anzahl der Prozessoren nach den Geschwindigkeitsanforderungen des Anwenders zu erhöhen. Jedem Bildprozessor wird dann eine Teilmenge der Aufgaben zugewiesen, die dann zeitlich parallel abgearbeitet werden. Teilergebnisse werden nur nach Aufforderung zwischen den Bildprozessoren ausgetauscht, indem das Bussystem kurzzeitig aktiviert wird. Von der Kamera werden alle Bildprozessoren in dem Parallelsystem mit den gleichen Daten versorgt.

Die Eingabe ueber den Videobus ist dabei mit einer externen oder internen Adressierung moeglich, die nach dem Prinzip des direkten Speicherzugriffs DMA realisiert wurde. Die Auswahl erfolgt mittels Wickelbruecken auf der Platine. Damit werden hohe Dateneingaberraten ermoeglicht. Die Steuerung des Gesamtsystems erfolgt ueber Master-Slave-Beziehungen. Waehrend der Initialisierung uebernimmt der Controler die Masterfunktion, die in der Arbeitsphase an die Dateneingabe ueber den Videobus uebergeht. Da als Speicherzellen dynamische Speicher verwendet werden, wurde eine interne Refreshgenerierung entwickelt, die ohne Stoerung der Dateneingabe ueber den Videobus die Speicherauffrischung vornimmt. Die Ergebnisse der Merkmalberechnung werden vom Bildprocessorsystem an die CPU des Kamerarechners weitergegeben, von dem dann die Klassifizierung vorgenommen wird.

In der Betriebsweise als Arithmetikprozessor ist die Rechnerplatine ausserhalb des Bilddatenflusses angeordnet. Der Bildprozessor wird fuer die auszufuehrenden Operationen ebenfalls ueber die

BEE 1010 programmtechnisch versorgt. Die Operanden fuer die arithmetischen Berechnungen werden ebenfalls vom BES uebergeben und das Ergebnis wird wieder abgefragt. Die Softwaremodule sind als U 8000-Assemblerprogramme zu erstellen und in das BES-Programmsystem aufzunehmen. Der Aufruf erfolgt ueber FORTH-Worte.

2.4.2. Grautonbildverarbeitung

Fuer die Verarbeitung von Grautonbildern wurde das zum System BES 2000 kompatible Bildanalysesystem BAS 4000 entwickelt.

Dieses System dient zur Abtastung, Speicherung, Visualisierung, Verarbeitung und Auswertung von Grauwertbildern auf der Basis der 8-bit Rechentechnik.

Die Hardware des BAS 4000-Systems besteht aus einer Bildaufnahmeeinheit, einem Kamerarechner mit Koppelmoeglichkeit zu anderen Rechnern sowie einer Visualisierungseinheit.

Entsprechend der im Bild 2.20 dargestellten BAS-Systemkonfiguration realisiert das BAS 4000-System die folgenden Grundfunktionen:

In der Bildaufnahmephase liefert die Kamera an den Kamerarechner-Speicher ein den Bilddaten analoges Videosignal, das ein A/D-Wandler mit einer Aufloesung von 4-bit digitalisiert und im gepackten Format (2 Grauwerte je 4-bit) als 8-bit-Wort an die Puffer-Codier-Platine zur Zwischenspeicherung weitergibt. Die in der Puffer-Codier-Platine zwischengespeicherten Bilddaten werden entsprechend dem Regime des Kamerarechners seitenweise ausgelesen (2 Seiten je 1 KByte Speichertiefe verfuegbar) und in einem vorgesehenen Speicherbereich des Kamerarechners (Bildspeicherbereich) abgelegt. In der Verarbeitungsphase werden diese Daten ausgelesen, per Programm entpackt und pixelweise ueber eine PIO an den GIPP-Prozessor (greyscale image preprocessor, s.u.) oder eine Pipeline aus 2 GIPP-Prozessoren ausgegeben.

Die abgespeicherten Bilddaten koennen visualisiert werden. Dies ist wahlweise mit einem Farbmonitor (Anschluss einer Grafiksteuerung) oder mit einem s/w-Monitor (Anschluss eines Grafikdisplays GDM 180) moeglich. Der Kamerarechner stellt 2 serielle Schnittstellen bereit, ueber die als uebergeordneter Rechner bzw. als Steuerrechner ein Buerocomputer und/oder ein Terminal angeschlossen werden koennen. Die 4-bit-ADC-Baugruppe hat eine Kon-

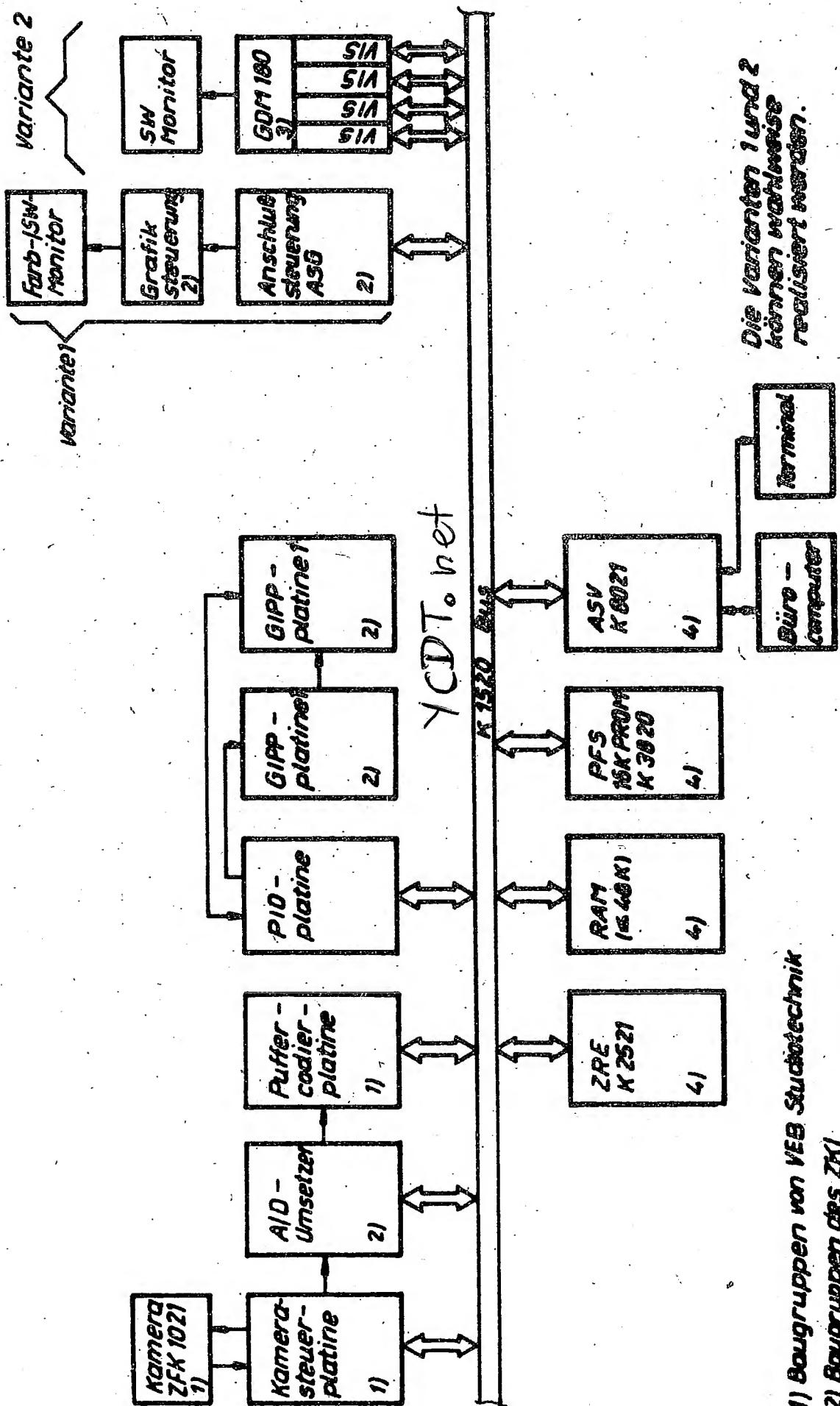


Bild 220 BAS 4000-Systemkonfiguration

vertierungszeit unter 100ns. Durch ein Rechnerausgabeport und zwei 4-bit-DA-Wandler laesst sich der Konvertierungsbereich veraendern und an die jeweiligen Bildabtastbedingungen anpassen. Zwei 4-bit-Bildpunkte werden in ein Datenbyte gepackt und koennen mit IN-Befehlen vom Rechner gelesen werden. Synchronisation mit dem Rechner wird auch hier durch Interupt und WAIT-Steuerung erreicht. Auf diese Weise lassen sich mit der 4-MHz-CPU Bilddaten mit einer Bildpunktfrquenz $\leq 500\text{kHz}$ in den Rechner eingeben. Der Spezialprozessor GIPP ist programmierbar und realisiert einen speziellen Berechnungsalgorithmus. Dieser Berechnungsalgorithmus loest Auswahlaufgaben derart, dass fuer die neue Belegung eines ausgezeichneten Bildpunktes (hier des Zentralpunktes ZP eines (3x3)-Fensters) $G(ZP) \leftarrow \{G_i \mid i = 0 \dots 8\}$ gilt. Zusammengefasst weist der im GIPP implementierte Berechnungsalgorithmus die folgenden Eigenschaften auf /2.3/:

- Er arbeitet auf der Pixelebene des Bildfensters in jeder Bitebene parallel (Mikroparallelitaet)
- Er erzeugt nacheinander jedes Bit des Ergebnisses (Mikroserialitaet)
- Die Anzahl n der Berechnungsschritte ist fuer eine gegebene Anzahl GSO von Grauwertstufen konstant und unabhaengig von der eingestellten Operatorfunktion und der aktuellen Grauwertverteilung ($n=1$ GSO). Daraus resultiert ein streng synchroner Betrieb ohne Steuerungsprobleme bei einer Pipeline-Kopplung mehrerer Prozessoren.
- In jedem Berechnungsschritt wird ausser den 9 Vergleichen fuer (3x3)-Masken nur ein Table-Lockup-Schritt durchgefuehrt.
- Die Hardware-Struktur laesst sich sowohl fuer andere Maskenformate als auch fuer groessere Grauwertbereiche erweitern. Die Hardware-Realisierung einer GIPP-Struktur fuer (3x3)-Masken und GSO=16 Grauwertstufen benoetigt 60 TTL- und MOS-Schaltkreise.

Fuer diese Hardware- Struktur ist ein Blockschaltbild in Bild 2.21 dargestellt.

Der Prozessor ist ueber den PIO-Baustein oder im DMA-Betrieb mit einem Mikrorechner (K 1520) gekoppelt. Eine neue Zentralpunktbelegung wird in einer Zeit $< 750\text{ ns}$ erzeugt. Durch eine zyklische Anordnung mehrerer solcher Prozessoren ist diese Zeit auf weniger als 100 ns fuer 16 Graustufen reduzierbar. Die regelmaessige

Struktur des Prozessors sowie die hohe Wiederholrate einzelner Subbaugruppen bilden günstige Voraussetzungen fuer die Herstellung als integrierter Schaltkreis.

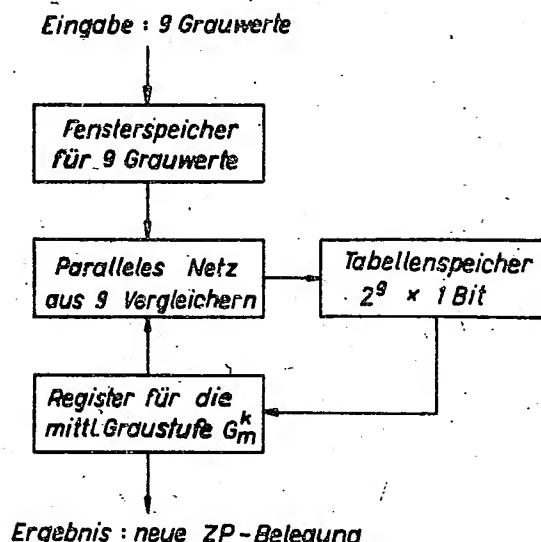


Bild 2.21: Blockschaltbild des GIPP- Prozessors

Zu den im GIPP implementierbaren Bildverarbeitungsfunktionen zaehlen beispielsweise folgende:

- Masken-Operationen (Verdünnung, Verdickung, Restaurierung, Gradientenbildung, Direktonaler Median)
- Sortier-Operationen (Rangordnungsoperator)
- Table-lookup-Operationen (Freeman- und Knoten-Codierung von linienhaften Strukturen)
- Algorithmen der Image Algebra (Erosion, Dilatation, Opening, Closing, Erzeugung der konvexen Huelle, Mittelachsen- transformation)
- Erzeugung strukturierender Elemente fuer die Textur-Analyse.

Ergaenzend sei bemerkt, dass in der GIPP-Struktur alle Bildverarbeitungsalgorithmen implementierbar sind, die sich direkt oder durch Dekomposition auf den beschriebenen Berechnungsalgorithmus zurueckfuehren lassen. Im zweiten Fall reicht im allgemeinen eine einfache Pipeline-Struktur nicht aus, sondern es sind auch Parallelanordnungen von GIPP-Prozessoren, einschliesslich der logischen oder arithmetischen Verknuepfung ihrer Ausgaenge, erforderlich.

2.5. Einsatzvarianten

Ausgehend von der Zielstellung, ein Bilderkennungssystem vorwiegend fuer industriellen Einsatz zu schaffen, wird die BEE 1010 ohne Hardware fuer eine Nutzerkommunikation mittels Tastatur und Bildschirm geliefert. Fuer haeufigere Anpassung des Systems an wechselnde Anforderungen und bei einigen Erkennungsverfahren fuer die Trainingsphase ist aber ein Dialog noetig. Ausserdem muss die Externspeicherung von Daten in solchen Faellen moeglich sein.

Es wurde daher ein Zwei-Rechnersystem zugrunde gelegt, in dem die BEE 1010 als Slave nur fuer die Bildaufnahme und -verarbeitung sowie Prozessaufgaben eingesetzt wird und der Dialog und die Datenspeicherung auf einem Steuerrechner (Master) erfolgen. Die Kopplung der Rechner erfolgt seriell (SIO) ueber V24-Anschluss. Als Steuerrechner sind die Buerocomputer A5120 bzw. A5130 oder der Personalcomputer PC1715 verwendbar. Da das implementierte FORTH-System (IPCFORTH) nur ein CP/M-kompatibles Betriebssystem voraussetzt und die Moeglichkeit einer seriellen Kopplung erfordert, kann auch ein anderer, entsprechend ausgeruesteter 8-Bit-Rechner eingesetzt werden.

Es lassen sich nun aus dieser Zwei-Rechner-Konfiguration im wesentlichen 3 Einsatzvarianten ableiten. Fuer experimentelle Zwecke ist staendig dieses Zwei-Rechner-System noetig, weil permanent ein Dialog erfolgt und die Externspeicherung von Programmen und Daten noetig ist.

Als Inbetriebnahmesystem wird die Zwei-Rechnerkopplung nur fuer die Zeit der Systeminstallierung, fuer die Programmierung neuer Ablaeufe oder die interaktive Belehrung des Systems verwendet. Danach kann der Steuerrechner entfernt werden. Ziel ist es auf jeden Fall, fuer die BEE 1010 den autonomen Betrieb vorzubereiten.

Wenn dann die BEE 1010 voellig separat arbeitet, wird vom Einsatzsystem gesprochen. Nach dem Einschalten beginnt der Rechner ohne weitere Eingaben das vorgegebene Programm abzuarbeiten. Prozessabhaengige Initialisierungen koennen in der Phase der Installierung des Systems vorgesehen werden.

Eine direkte Bedienung der BEE 1010 allein ist moeglich, wenn die benoetigten Hardware-Baugruppen nachgeruestet werden. Die entsprechenden Software-Anschlüsse sind im FORTH-System (VS-FORTH)

enthalten.

Das in der BEE 1010 vorhandene FORTH-System realisiert zugleich die Betriebssystemfunktion und den Steuerungsablauf fuer die implementierten Programme (siehe Teil II).

Literatur:

2.1. Patentschrift:

Verfahren und Vorrichtung zur visuellen Erkennung und Vermessung im kontinuierlichen Materialfluss.

GO6F/292 292 4, IH Wismar

2.2. Schwarz, W.; Poehland, K.-P.:

Erarbeitung von Software fuer Zeilenkameras auf dem MC80.

Feingeraetetechnik, Berlin 34(1986), S. 165-166

2.3. Roesler, U., Schwarze, G., Chung, T.L.

Lokale Bildoperatoren zur Manipulation von Grauwertobjekten und ihre Implementierung durch den Prozessor GIPP

Bild und Ton 39(1986)3, S. 85-89

— msr 26 (1983) HAA

607-615

— B+T (78-89)